

Melhoria de Linhas de Produção e sua Simulação

FILIPA MARINA FERREIRA ALMEIDA LOPES DA ROCHA

novembro de 2016

MELHORIA DE LINHAS DE PRODUÇÃO E SUA SIMULAÇÃO

Filipa Marina Ferreira Almeida Lopes da Rocha



Departamento de Engenharia Eletrotécnica
Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
Área de Especialização em Automação e Sistemas

2016

Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de
Tese/Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Candidato: Filipa Marina Ferreira Almeida Lopes da Rocha, Nº 1100416,
1100416@isep.ipp.pt

Orientação científica: Manuel Fernando do Santos Silva, mss@isep.ipp.pt

Coorientação científica: Paulo António da Silva Ávila, psa@isep.ipp.pt

Empresa: Aveleda, SA

Supervisão: José Eduardo Ferreira Pires, jose.pires@aveleda.pt



Departamento de Engenharia Eletrotécnica
Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
Área de Especialização em Automação e Sistemas

2016

Aos meus pais, que sempre fizeram e deram o melhor por mim.

Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de fazer um agradecimento muito especial aos meus pais pelo facto de me possibilitarem a realização do Mestrado e todo o apoio e incentivo que me deram para continuar os meus estudos.

Um agradecimento ao meu namorado, Pedro Ferreira, por estar todo o tempo presente nesta etapa e por todo o apoio e paciência prestados ao longo da mesma.

Agradeço ao meu orientador, o Professor Doutor Manuel Fernando dos Santos Silva a sua orientação durante a realização de todo o trabalho que foi sendo desenvolvido para elaboração desta Dissertação e ainda agradeço todo o trabalho que teve durante a sua orientação, tendo em elevada consideração todo o trabalho na leitura bem como as sugestões de revisão que permitiram enriquecer o documento desta Dissertação.

Quero agradecer ao meu coorientador, o Professor Doutor Paulo António da Silva Ávila a sua coorientação e disponibilidade para coorientar o trabalho desenvolvido, bem como as suas sugestões.

Pretendo agradecer à Aveleda, S.A., inclusive ao Diretor de Produção e Enologia, Manuel Soares, a possibilidade da realização do estágio, assim como o facto de me terem disponibilizado todos os meios ao seu alcance que permitiram a elaboração desta Dissertação. Gostaria ainda de agradecer o excelente acompanhamento, disponibilidade, paciência e supervisão ao Engenheiro José Eduardo Ferreira Pires ao longo de todo o meu estágio.

Por último, um agradecimento ao Sr. Jaime Reis, por todo o apoio disponibilizado durante o estágio e por estar sempre disponível quando as implementações de melhorias eram aplicadas, o seu apoio foi fundamental. E ainda a todos os que me apoiaram nesta empresa.

Resumo

Na indústria existe uma enorme apetência para as melhorias e para o evitar de perdas, na medida de melhorar a sua produção e essencialmente reduzir custos. A utilização de *softwares* de simulação pode ser uma grande vantagem para indústrias de média e grande dimensão, tendo uma utilização caracterizada para modelação de plantas fabris, dando ao utilizador possibilidade de previsões de alterações que se pretendam implementar e estudando assim a sua viabilidade, antes da sua implementação. Trata-se, pois, de uma ferramenta de auxílio ao desenvolvimento de estudos e de projetos a iniciar antes que estes sejam implementados; no caso de projetos já implementados, esta ferramenta ajuda o utilizador a perceber problemas nas linhas de produção e permite estudar a implementação de possíveis alterações e melhorias.

Esta dissertação surge no âmbito do Departamento da Gestão da Manutenção, na Aveleda S.A., com o intuito de efetuar melhorias de linhas de produção, linhas essas que engarrafam vinho. O desenvolvimento do projeto passa pelo estudo de todos os equipamentos presentes nas linhas de engarrafamento de forma a ser possível a sua modelação para simulação.

Recorreu-se a um simulador denominado de Delmia QUEST, que permite a simulação das linhas, conseguindo com isso a obtenção de dados relativos à linha, como, por exemplo, a taxa de utilização de cada uma das máquinas, a quantidade de garrafas produzidas num determinado tempo, o tempo de inatividade das máquinas, assim como outros dados.

Em paralelo com o estudo da linha, foram efetuadas alterações na mesma que visam o seu melhoramento. Foram realizadas alterações na principal linha de engarrafamento de vinho, ao nível de fins-de-curso, reprogramando os PLC instalados na linha, ao nível de mudanças de número de dentes de carretos, ao nível de eficiência energética e desgastes mecânicos, entre outros.

As soluções implementadas foram estudadas e testadas antes de implementadas, sendo que se verificou viabilidade para a sua implementação.

Palavras-Chave

Delmia QUEST, PLC, simulação, melhoria, linha de engarrafamento,

Abstract

In Industry, there is a great propensity for improvements and to avoid losses in order to improve production and substantially reduce costs. The use of simulation software can be a great advantage for medium and large companies, with a use characterized for modelling manufacturing plants which provides the user the possibility to predict the results of changes that he might wish to implement, and therefore it allows studying its feasibility before implementation. It is, therefore, a tool which assists the development of studies and designs to be launched before they are implemented. If already implemented, this tool helps the user to perceive problems in production lines and allows to study the implementation of possible changes and improvements.

This work arises from the study developed in the Department of Maintenance Management in Aveleda S.A., with the purpose of improving the production lines, lines which bottle wine. The development of the project requires the study of all the equipment present in the bottling lines in order to make possible its modelling for future simulation.

It has been used a simulator called Delmia QUEST, which allows the simulation of lines, and therefore allows the retrieving of data on the line, such as the occupation rate of each machine, the number of bottles produced in a given period of time, the downtime of the machines, as well as other data.

In parallel with studying the line, changes have been made in order to improve it, namely changes in the limit switches of the main wine bottling line, by reprogramming the PLC installed on the line, as well as by changing the number of gears teeth, but also the level of energy efficiency and the mechanical wear, among others.

The implemented solutions have been studied and tested before implementation, and it has also been verified the viability of its implementation.

Keywords

Delmia QUEST, PLCs, simulation, improvement, bottling line.

Índice

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABELAS	XI
ACRÓNIMOS	XIII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1.CONTEXTUALIZAÇÃO.....	1
1.2.OBJETIVOS	2
1.3.CALENDARIZAÇÃO.....	2
1.4.ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO	4
2. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA E ENQUADRAMENTO DO PROJETO	7
2.1.CONTEXTUALIZAÇÃO DO GRUPO AVELEDA.....	7
2.2.ENQUADRAMENTO DO PROJETO	10
2.3.ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DAS LINHAS	10
3. ESTUDO TEÓRICO DO PRIMEIRO OBJETIVO: ANÁLISE DE POSSIBILIDADES DE MELHORIAS	31
3.1.ESTUDO DE TEMPOS	31
3.2.MÉTODOS PARA SE EFETUAR O ESTUDO DE TEMPOS.....	33
3.3.PRECISÃO DA AMOSTRA	36
3.4.CORREÇÕES, COMPLEMENTOS OU COEFICIENTES	37
3.5.RESULTADOS DOS TEMPOS RECOLHIDOS	37
4. MELHORIA DO FUNCIONAMENTO DA LINHA	41
4.1.PROBLEMAS DETETADOS	41
4.2.MELHORIAS IMPLEMENTADAS	43
4.3.RESULTADOS OBTIDOS.....	49
5. ESTUDO TEÓRICO DO SEGUNDO OBJETIVO: SIMULAÇÃO DE PROCESSOS	53
5.1.INTRODUÇÃO À SIMULAÇÃO	53
5.2.MODELAGEM DE SISTEMAS	57
5.3.TIPOS DE MODELOS DE SIMULAÇÃO	59
5.4.METODOLOGIA DA SIMULAÇÃO DE PROCESSOS.....	60
5.5.VERIFICAÇÃO, VALIDAÇÃO E CONFIABILIDADE DE MODELOS	62
5.6.DELMIA QUEST	63
6. MODELAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DA LINHA	65
6.1.ANÁLISE DOS EQUIPAMENTOS.....	65
6.2.MODELAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS INDIVIDUAIS NO <i>SOFTWARE</i> QUEST	76
6.3.MODELOS DAS LINHAS DE ENGARRAFAMENTO	85
6.4.VALIDAÇÃO DO MODELO	86
7. ANÁLISE DA LINHA PARA PROPOSTA DE MELHORIAS	89
7.1.REDUÇÃO DO TEMPO DE ENCHIMENTO.....	89
7.2.ALTERAÇÃO NA MODELAÇÃO DO ENXAGUAMENTO	93

7.3. REDUÇÃO DO TEMPO DE MÁQUINA DE FORMAR CAIXAS DE 12 UNIDADES	97
8. CONCLUSÕES E IDEIAS PARA TRABALHO FUTURO.....	103
8.1. CONCLUSÕES DO TRABALHO	103
8.2. PROPOSTAS PARA DESENVOLVIMENTO FUTURO.....	105
8.3. REFLEXÃO PESSOAL SOBRE O TRABALHO DESENVOLVIDO.....	105
REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS.....	107
ANEXO A. TEMPOS DE CICLO - LINHA 1.....	109
ANEXO B. TEMPOS DE CICLO – LINHA 2	115
ANEXO C. ESQUEMA ELÉTRICO DA MÁQUINA DE FORMAR CAIXAS.....	121
ANEXO D. VELOCIDADES DOS TRANSPORTADORES – LINHA 1	125
ANEXO E. VELOCIDADES DOS TRANSPORTADORES – LINHA 2	129

Índice de Figuras

Figura 1	Quinta da Aveleda, Penafiel [2]	9
Figura 2	Rolhas de cortiça e cápsulas roscadas, respetivamente [4,5]	11
Figura 3	Garrafa de cápsula roscada e de rolha de cortiça mais utilizada na linha 1 [6]	11
Figura 4	Layout da linha de engarrafamento 1	12
Figura 5	Despaletizadora da linha 1	13
Figura 6	Enxaguadora da linha 1	13
Figura 7	Enchedora da linha 1	14
Figura 8	Tipos de enchedoras de nível constante [7]	15
Figura 9	Variação de volume com a temperatura [7]	15
Figura 10	Rolhador de rolha de cortiça da linha 1	16
Figura 11	Rolhador de cápsula roscada (screw cap) da linha 1	16
Figura 12	Inspetor de rolha e de nível da linha 1	18
Figura 13	Capsulador de garrafas da linha 1	18
Figura 14	Rotuladora da linha 1	19
Figura 15	Máquina de formar caixas da linha 1	19
Figura 16	Máquina das divisórias da linha 1	20
Figura 17	Encartonadora da linha 1	20
Figura 18	Inspetor de caixas da linha 1	21
Figura 19	Máquina de fechar caixas	21
Figura 20	Garrafa de vinho mais utilizada na linha 2 [9]	22
	23	
Figura 21	Layout das linhas de engarrafamento 2, 3, 4 e 5	23
Figura 22	Despaletizadora da linha 2	24
Figura 23	Enxaguadora da linha 2	24
Figura 24	Enchedora da linha 2	25
Figura 25	Rolhador da linha 2	25
Figura 26	Rolhador de cápsulas roscadas da linha 2	26
Figura 27	Capsulador implementado na linha 2	27
Figura 28	Rotuladora da linha 2	27
Figura 29	Máquina de formar caixas da linha 2	28
Figura 30	Máquina de formar divisórias da linha 2	28
Figura 31	Encartonadora	29
Figura 32	Máquina de fechar caixas	29
Figura 33	Diversas categorias de correções [10]	37
Figura 34	Interruptores fim-de-curso dos transportadores que antecedem a encartonadora	42
Figura 35	Fluxograma do funcionamento dos fins de curso	44
Figura 36	Quadro elétrico com implementação de novo relé	45
Figura 37	Transportador à saída da máquina de formar caixas e respetiva fotocélula	45
Figura 38	Fotocélula responsável pela leitura da acumulação de caixas	46
Figura 39	Implementação do contador no PLC	47
Figura 40	Carretos que foram substituídos dos motores dos transportadores	47
Figura 41	Transportadores que sofreram alteração	48

Figura 42	Alteração implementada ao nível dos carretos	49
Figura 43	Processo de modelagem [16]	58
Figura 44	Ambiente gráfico do simulador QUEST	63
Figura 45	Modelo implementado da linha 1	67
Figura 46	Layout implementado para a linha de engarrafamento 2	68
Figura 47	Garrafa simulada	69
Figura 48	Caixas cheias de 6 e 12 unidades simulada, respetivamente	69
Figura 49	Despaletizadora	70
Figura 50	Enxaguadora	70
Figura 51	Enchedora	71
Figura 52	Rolhador de rolha de cortiça e de cápsula roscada, respetivamente	71
Figura 53	Capsulador	72
Figura 54	Rotuladora	72
Figura 55	Máquina de formar caixas	73
Figura 56	Encartonadora	73
Figura 57	Máquina de fechar caixas	74
Figura 58	Pontos de rejeição assinalados no layout da linha 1	75
Figura 59	Pontos de rejeição assinalados no layout da linha 2	75
Figura 60	Parâmetros necessários para modelação da source	77
Figura 61	Display utilizado para representação da source palette de garrafas e operador de linha	78
Figura 62	Parâmetros necessário para modelação das machines	78
Figura 63	Parâmetros a serem modelados para a criação dos Decision Point	80
Figura 64	Parâmetros a serem modelados para a criação do modelo dos Buffer	81
Figura 65	Display utilizado para a modelação do Buffer	81
Figura 66	Parâmetros a serem modelados para a criação do modelo da Sink	82
Figura 67	Display utilizado para modelação da Sink	82
Figura 68	Parâmetros a serem modelados para a criação do modelo dos Conveyors	83
Figura 69	Display utilizado para representação dos Conveyors	84
Figura 70	Conexão entre os elementos a serem simulados	84
Figura 71	Valores reais e simulados de quantidade de garrafas produzidas na linha 1 em 8 horas	87
Figura 72	Valores reais e simulados da quantidade de garrafas produzidas na linha 2 em 8 horas	87
Figura 73	Novo layout da zona de enchimento da linha 1	94
Figura 74	Modelação do novo layout referente à linha 1	94
Figura 75	Novo layout da linha 2	96
Figura 76	Modelação de novo layout referente à linha 2	96
Figura 77	Esquema elétrico da máquina de formar caixas	121
Figura 78	Esquema elétrico da máquina de formar caixas parte 2	122
Figura 79	Esquema elétrico da máquina de formar caixas parte 3	123

Índice de Tabelas

Tabela 1	Calendarização do trabalho desenvolvido	3
Tabela 2	Dados recolhidos relativos aos tempos de ciclo das máquinas da linha 1	38
Tabela 3	Dados recolhidos relativos aos tempos de ciclo das máquinas da linha 2	39
Tabela 4	Velocidades antes e após alteração dos carretos	49
Tabela 5	Consumos energéticos da máquina de formar caixas antes e depois da implementação da melhoria	50
Tabela 6	Consumos energéticos dos transportadores de caixas antes e depois da implementação da melhoria	50
Tabela 7	Resultados relativos à melhoria implementada	51
Tabela 8	<i>Parts</i> criadas	68
Tabela 9	Perdas de material referentes à linha 1	76
Tabela 10	Perdas de material referentes à linha 2	76
Tabela 11	Valores utilizados para a modelação das <i>machines</i> da linha 1	79
Tabela 12	Valores utilizados para a modelação das <i>machines</i> da linha 2	85
Tabela 13	Resultados da simulação com tempo de ciclo da enchedora da linha 1 inalterado	90
Tabela 14	Resultados da simulação com o tempo de ciclo da enchedora da linha 1 reduzido em 1 segundo	91
Tabela 15	Resultados da simulação com tempo de ciclo da enchedora da linha 2 inalterado	92
Tabela 16	Resultados da simulação com o tempo de ciclo da enchedora da linha 2 reduzido em 1 segundo	92
Tabela 17	Resultados da simulação com a futura enxaguadora da linha 1	95
Tabela 18	Resultados da simulação com a futura enxaguadora da linha 2	97
Tabela 19	Resultados da simulação com o tempo de ciclo da máquina de formar caixas e divisórias da linha 1 inalterado	98
Tabela 20	Resultados da simulação com o tempo da máquina de formar caixas e divisórias da linha 1 reduzido em 1 segundo	99
Tabela 21	Comparação das taxas de utilização da máquina de formar caixas e divisórias da linha 1 antes e depois da alteração do tempo de ciclo	99
Tabela 22	Resultados da simulação com o tempo de ciclo da máquina de formar caixas e divisórias da linha 2 inalterado	100
Tabela 23	Resultados da simulação com o tempo da máquina de formar caixas e divisórias da linha 2 reduzido em 1 segundo	101
Tabela 24	Comparação das taxas de utilização da máquina de formar caixas e divisórias da linha 2 antes e depois da alteração do tempo de ciclo.	101
Tabela 25	Valores dos tempos de ciclo de cada equipamento recolhidos da linha 1	109
Tabela 26	Valores dos tempos de ciclos de todos os equipamentos da linha 2	115
Tabela 27	Valores das velocidades de todos os transportadores implementados na linha 1	125
Tabela 28	Valores referentes às velocidades dos transportadores da linha 2	129

Acrónimos

CAD	–	<i>Computer Aided Design</i>
CLP	–	Controladores Lógicos Programáveis
ET	–	Estudo de Tempos
IAT	–	<i>Inter Arrival Time</i>
OEE	–	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
PLC	–	<i>Programmable Logic controller</i>
SDCD	–	Sistemas Digitais de Controlo Distribuído
TI	–	Tecnologias de Informação
UML	–	<i>Unified Modeling Language</i>

1. INTRODUÇÃO

Este projeto incide de forma direta na melhoria de linhas de produção, isto é, incide sobre o estudo e verificação de layouts para que seja possível melhorar os mesmos.

De modo a garantir que as linhas de produção são melhoradas, é importante fazer um estudo prévio das mesmas, nomeadamente estudar os tempos de ciclo e os tempos mortos, para que assim se possam melhorar os mesmos quer em rendimentos, quer em poupança energética.

Desta forma, tendo em conta a importância da rentabilidade da produção, torna-se conveniente testar todas as possibilidades de melhoramentos possíveis ao longo de toda a linha de produção, de modo que, no final, a produção seja aumentada e melhorada.

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Este projeto surgiu do desejo de realizar um trabalho a nível industrial. A empresa que possibilitou concretizar esta vontade foi a Aveleda, S.A., através do desenvolvimento de um projeto no âmbito da unidade curricular Tese/Dissertação, do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores. A proposta de estágio desta empresa centrava-se na melhoria de linhas de produção. Isto passava pela melhoria da sincronização de linhas de engarrafamento, através da análise e estudo da programação dos autómatos programáveis responsáveis pelo controlo dos equipamentos e reprogramação dos autómatos de gestão de linha, sincronização de motores dos tapetes transportadores e respetivos equipamentos, bem

como da prévia análise de tempos mortos, e identificação e análise de pequenos encravamentos, que contribuem para a perda de rendimento.

Para atingir o objetivo proposto, iniciou-se um levantamento de todos os equipamentos utilizados na linha de produção. Posto isto, foram analisadas as respectivas plantas de cada uma das linhas de produção a melhorar, seguindo-se o estudo do respetivo funcionamento das mesmas. Concluídos todos estes estudos, recorreu-se ao *software* Delmia QUEST de modo a simular possíveis melhoramentos para cada linha de produção. Posteriormente foram feitas alterações ao longo da linha, quer em melhoramento de produção, como em melhoramento da eficiência energética.

1.2. OBJETIVOS

Os objetivos principais do trabalho descrito nesta Dissertação passam pela análise de possibilidades de melhoria das linhas de produção de engarrafamento, com maior incidência na linha 1, bem como a sua implementação, e pela sua simulação através do *software* disponibilizado, Delmia QUEST, com o intuito de perspetivar possíveis implementações nas linhas.

1.3. CALENDARIZAÇÃO

Uma vez que o projeto a desenvolver requeria bastantes estudos e análises, a sua prossecução conduziu à calendarização apresentada na Tabela 1. Esta inclui levantamentos de dados, o estudo da documentação, os estudos dos tempos de operação, a automação dos processos, a arquitetura da solução, a implementação da solução, testes e análise dos resultados da solução proposta.

Tabela 1 Calendarização do trabalho desenvolvido

	Sem 9	Sem 10	Sem 11	Sem 12	Sem 13	Sem 14	Sem 15	Sem 16	Sem 17	Sem 18	Sem 19	Sem 20	Sem 21	Sem 22	Sem 23	Sem 24	Sem 25	Sem 26	Sem 27	Sem 28	Sem 29	Sem 30	Sem 31	Sem 32	Sem 33	Sem 34	Sem 35	Sem 36	Sem 37	Sem 38	Sem 39
ETAPA																															
Recolha dos tempos de ciclo das máqs da linha1																															
Elaboração da introdução do relatório																															
Elaboração do Capítulo 2																															
Elaboração do Capítulo 3																															
Elaboração do Capítulo 4																															
Elaboração do layout da linha 1 e melhoramentos no QUEST																															
Elaboração do Capítulo 5																															
Elaboração do Capítulo 6																															
Estudo e implementação de melhoria na encartonadora																															
Estudo e implementação da melhoria na formadora de caixas																															
Recolha dos tempos de ciclo das máqs da linha2																															
Elaboração do layout da linha 2 e melhoramentos no QUEST																															
Elaboração do Capítulo 7																															
Estudo e implementação de melhoria nos transportadores de caixas																															
Realização de testes e análise de resultados																															
Elaboração do Capítulo 8																															
Conclusão do projeto																															

	Férias
	Elaboração de Etapa

1.4. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

Esta Dissertação encontra-se organizada em 8 capítulos, e 5 anexos, cujo conteúdo é o que se descreve de seguida.

O Capítulo 1 apresenta a contextualização do projeto bem como os objetivos a serem atingidos ao longo do mesmo. Também se faz uma abordagem à calendarização do projeto, expondo como este foi sendo desenvolvido ao longo do estágio e, para finalizar, é abordada a forma como o relatório se encontra estruturado e organizado.

O capítulo seguinte, o Capítulo 2, é referente à apresentação da empresa, relatando um pouco da sua história ao longo dos anos: é descrito como esta foi evoluindo e quais os produtos disponíveis para venda e, também aqui, é feita uma referência ao enquadramento do projeto. Para finalizar este capítulo são apresentados todos os equipamentos existentes nas linhas e uma breve explicação do seu funcionamento.

No Capítulo 3 surge a descrição relativa ao estudo de tempos e operações. Aqui é descrito o estudo de tempos, os métodos para se efetuar o estudo de tempos, como por exemplo os dados históricos ou tempos informais, método das cronometragens e método das amostragens. É também feita uma breve descrição acerca da precisão da amostra, planeamento do estudo, correções, complementos ou coeficientes.

O Capítulo seguinte, o 4, é relativo à melhoria do funcionamento da linha. Inicialmente são apresentados os problemas detetados, quer em transportadores, quer em máquinas, como ainda no tempo de ciclo da encartonadora. Faz-se ainda referência às melhorias implementadas nos problemas referidos e, por fim, uma análise aos resultados obtidos.

O Capítulo 5 dedica-se à simulação de processos, sendo feita uma breve introdução à simulação onde são apresentadas algumas vantagens e desvantagens desta técnica. Aborda-se a modelagem de sistemas, os tipos de modelos de simulação, a metodologia da simulação de processos, verificação, validação e confiabilidade de modelos e, por fim, efetua-se uma breve apresentação do simulador utilizado, Delmia QUEST.

Seguidamente, no Capítulo 6, apresenta-se a modelação do funcionamento da linha. É apresentada uma análise de equipamentos onde são definidas as *parts* e as máquinas do modelo. É ainda explicada a modelação dos equipamentos individuais no *software* QUEST,

quer da linha 1, como da linha 2. São apresentados os modelos das linhas de engarrafamento e, por fim, é apresentada a validação do modelo.

Posto isto, no Capítulo 7 faz-se uma análise da linha para proposta de melhorias. São apresentadas possíveis melhorias como, por exemplo, a redução do tempo de enchimento, a alteração da modelação do enxaguamento e a redução do tempo de formação de caixas de 12 unidades.

Finalizando com o Capítulo 8, são reunidas as principais conclusões do projeto e perspetivados futuros desenvolvimentos. Após tiradas as conclusões do trabalho, são apresentadas propostas para desenvolvimento futuro e, por fim, é apresentada uma reflexão pessoal sobre o trabalho desenvolvido.

2. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA E ENQUADRAMENTO DO PROJETO

Ao longo deste capítulo é feita uma abordagem à empresa onde o projeto foi desenvolvido. Além de uma breve introdução à história da mesma, é aqui apresentada a sua expansão a nível mundial. Ainda neste capítulo, é apresentado o enquadramento do projeto desenvolvido na empresa e são descritos todos os equipamentos presentes nas linhas a serem estudadas com uma breve explicação do seu funcionamento.

2.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO GRUPO AVELEDA

O grupo Aveleda é constituído pela Holding Fernando & Irmãos SGPS, S.A. que detém a Aveleda, S.A. (que se dedica à produção de vinhos e queijos) e o Zoo de Santo Inácio – Empreendimentos Turísticos, Lda.

A Aveleda é um nome com várias gerações, sendo os primeiros registos de venda de vinho engarrafado datados de 1870, pela mão de Manuel Pedro Guedes (1837-1899), conhecido

pela sua forte vocação empreendedora e considerado o fundador do negócio. Desde 1870, a Aveleda tem sido gerida e cuidada pela mesma Família, mantendo desde essa data o mesmo apelido varonil: Guedes.

1870 é o ano apontado como o do arranque oficial da produção de vinho na Quinta da Aveleda. À época, e ao contrário do que mais tarde viria a robustecer e a notabilizar esta casa, fazia-se vinho tinto. O seu trabalho deu frutos e a qualidade dos vinhos da Aveleda começou a ser reconhecida, ficando este reconhecimento marcado pela conquista das medalhas de ouro nos concursos internacionais de Berlim (1888) e Paris (1889).

O problema que rapidamente se criou foi o de sobreprodução, que colocava dificuldades de armazenamento. A produção excessiva manteve-se durante décadas, o que levou a família Guedes a abrir uma loja de “mercearia fina”, por volta de 1930, na Rua dos Clérigos, no Porto. O objetivo era escoar os vários produtos produzidos na quinta, incluindo também hortícolas [1].

A partir de 1995 inicia-se uma nova fase de expansão com investimentos significativos na melhoria da qualidade de produção de vinho e na sua embalagem, a par de um aumento significativo da capacidade de armazenagem e de uma melhoria da vinificação, que passa também a efetuar-se por castas. Assim sendo, foi aumentada a área do armazém de engarrafamento e implementada uma nova linha de engarrafamento, para além de outros investimentos.

Na história, a família Guedes passou sempre pela Quinta da Aveleda (Figura 1), que já faz parte da identidade da família.

Líder de mercado na Região dos Vinhos Verdes, a Aveleda é um dos maiores produtores de vinho em Portugal e exporta anualmente mais de metade da sua produção para mais de 70 países em todo o mundo.

A Quinta da Aveleda dispõe de 160 hectares de vinha, mas, ainda assim, só produz 15% dos milhões de quilos de uvas de que a empresa necessita anualmente. Os restantes 85% são comprados fora. Existem ainda mais 50 hectares de área da Quinta da Aveleda que não são vinha, 10 dos quais jardins. Possuem também uma vinha de Alvarinho, cuja uva é delicada e de baixa produção.



Figura 1 Quinta da Aveleda, Penafiel [2]

É de salientar que a Quinta da Aveleda também produz queijo de vaca e cabra, amanteigado e curado, e ainda dispõe de uma loja da quinta. Para além dos vinhos e queijos, também tem doces e vários outros produtos.

O portfólio que oferecem, para além do Casal Garcia, inclui o tinto Charamba, os tintos *Follies* e os topos de gama tinto e branco Grande *Follies*, para além da aguardente Adega Velha, que remonta a 1971.

A sua gama de vinhos cresceu, sendo que os mais recentes se tratam do Aveleda vinho verde e o Aveleda branco do Douro. Nas colheitas selecionadas as novidades são o Quinta da Aveleda Loureiro e Alvarinho, o Aveleda apenas Alvarinho, e ainda o Aveleda Reserva da Família, um *Chardonnay* produzido na Quinta da Agueira, uma propriedade que a Aveleda detém na região de Águeda. [3]

A Aveleda tem consciência do seu impacto na comunidade local do Vale do Sousa, especialmente nos concelhos de Penafiel e Paredes. A empresa procura contribuir para o desenvolvimento da região através da criação de emprego e desenvolvimento económico.

Atualmente, alguns dos atuais colaboradores pertencem à 6ª geração de famílias que, desde sempre, trabalham na empresa e residem nas 90 casas que a Aveleda detém.

2.2. ENQUADRAMENTO DO PROJETO

Relativamente ao enquadramento do trabalho descrito nesta Dissertação de Mestrado, este projeto surge no âmbito do trabalho desenvolvido pelo Departamento da Gestão da Manutenção, com a perspetiva de melhorar as suas linhas de engarrafamento de vinho.

No seguimento dos anos, e com as mais variadas inovações com que a sociedade se tem deparado, percebe-se que as empresas, equipamentos ou sistemas são cada vez mais sofisticados devido à evolução tecnológica e dos automatismos, o que leva a um aumento de custos de aquisição. Desta forma, torna-se interessante que os mesmos equipamentos tenham capacidade de retribuir o investimento feito, tornando-se necessária a consciencialização da importância que representa uma correta operação dos equipamentos e respetiva manutenção.

A função da manutenção torna-se, cada vez mais, essencial nas empresas industriais, a fim de se conseguir um melhor desempenho da mesma.

Ao realizar este tipo de melhoramento das linhas, a Aveleda irá consequentemente obter melhores resultados no que respeita ao volume de produção, aumento de rendimento e também possíveis melhoramentos de eficiência energética.

Deste modo, é importante verificar todas as capacidades dos equipamentos, para que estes possam ser melhorados, com intuito de, no final, ser possível tirar proveito dessas capacidades de modo a melhorar todo o processo da linha. Assim sendo, a empresa passa a dispor de dados relativos aos tempos de ciclo dos seus equipamentos, tempos de processo da linha que poderão ser melhorados.

2.3. ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DAS LINHAS

O projeto desenvolvido na Aveleda S.A. consiste no melhoramento das linhas de engarrafamento de vinhos. Para proceder ao seu engarrafamento são necessários vários componentes, desde máquinas, transportadores e matérias-primas.

A empresa dispõe de cinco linhas de engarrafamento, das quais apenas uma se encontra fora de serviço, a linha 3. As linhas que mais produzem são a linha 1 e a linha 2; as linhas 4 e 5 produzem apenas cerca de 5 % em comparação com as linhas 1 e 2. O estudo incidirá nas linhas de engarrafamento 1 e 2.

2.3.1. DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO DA LINHA 1

A linha 1 engarrafa maioritariamente Casal Garcia Vinho Verde Branco. Ainda engarrafa Casal Garcia Vinho Verde Rosé, Casal Garcia Douro Tinto e Casal Garcia Vinho Verde *Sweet*. Podem ser utilizadas rolhas de cortiça ou de cápsula roscada (ver Figura 2), as garrafas utilizadas são de 0,75 l (Figura 3), e o seu encaixotamento é feito em caixas de seis ou de doze unidades.



Figura 2 Rolhas de cortiça e cápsulas roscadas, respetivamente [4,5]



Figura 3 Garrafa de cápsula roscada e de rolha de cortiça mais utilizada na linha 1 [6]

Antes do vinho ser engarrafado, existem várias etapas às quais são submetidas as garrafas. Na Figura 4 é possível visualizar o *layout* da linha 1.

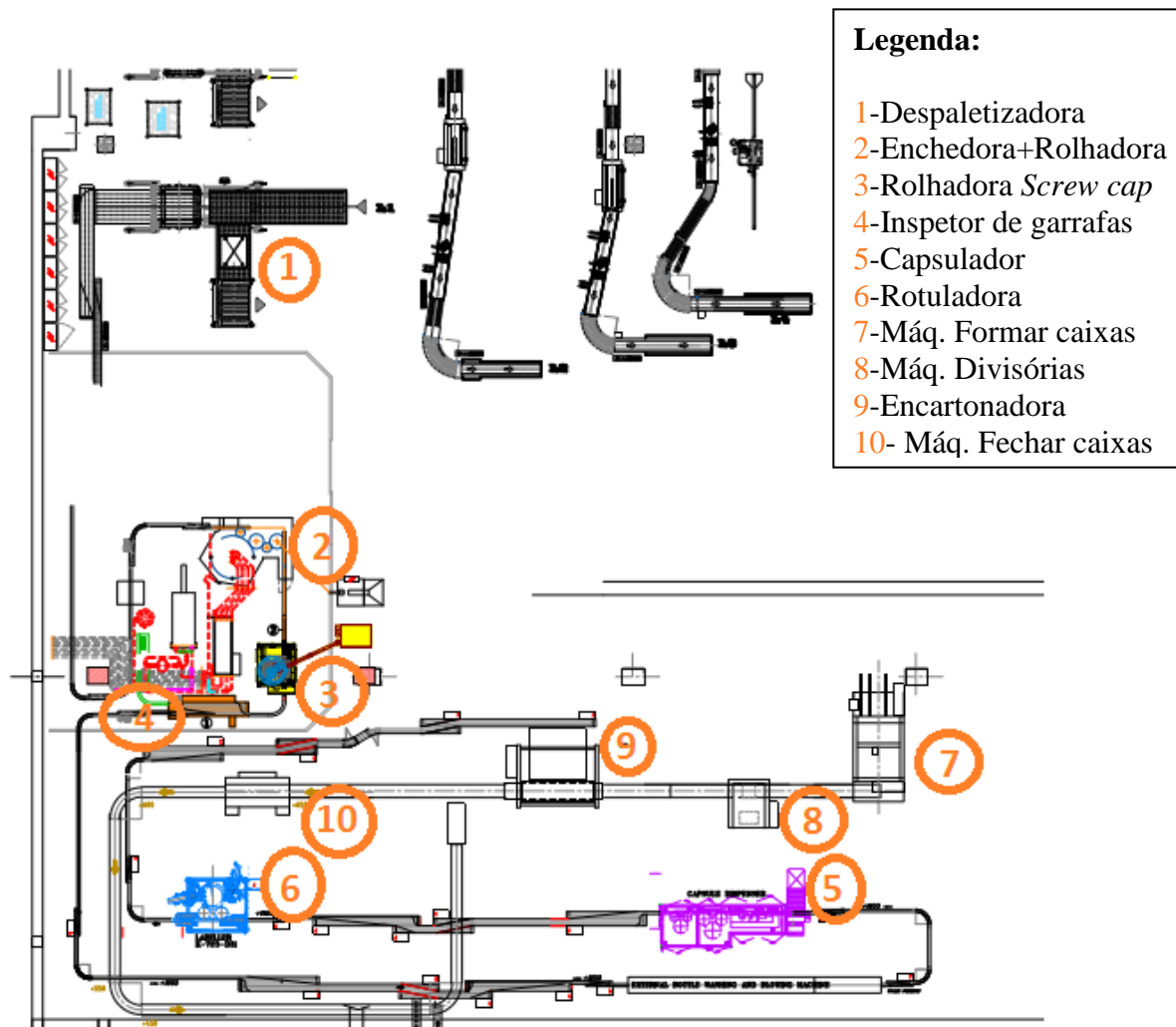


Figura 4 *Layout da linha de engarrafamento 1*

O primeiro processo a ser executado numa linha de engarrafamento é a despaletização das garrafas. As garrafas chegam à máquina despaletizadora em paletes constituídas por 1968 garrafas, divididas em 6 camadas, o que corresponde a 328 garrafas por camada, e são colocadas 328 garrafas de uma só vez na linha de produção, tal como mostra a Figura 5.

Uma vez colocadas as garrafas na linha de produção, estas são transportadas para o segundo processo, o enxaguamento das garrafas. Neste processo as garrafas são lavadas e esterilizadas, tratando-se de um processo onde são submetidas à entrada da máquina 20 garrafas de cada vez. Como é possível ver na Figura 6, existem 22 tambores rotativos no interior da máquina, o que se traduz em 440 garrafas a serem esterilizadas simultaneamente.



Figura 5 Despaletizadora da linha 1



Figura 6 Enxaguadora da linha 1

Trata-se de um procedimento importante uma vez que, no interior das garrafas podem-se encontrar: poeiras de vidro ou outras, pequenos vidros, resíduos de tratamento de superfície, água de condensação e insetos. Convém que a água do enxaguamento respeite as especificações legais da água para consumo humano, nomeadamente no que respeita às suas características microbiológicas. Deve-se dispor de um filtro esterilizante à entrada da enxaguadora, normalmente um filtro de membrana, ou ainda com dois cartuchos filtrantes sucessivos. Outra possibilidade de funcionamento consiste na utilização de ozono (água ozonizada), com o qual se consegue também a esterilização da própria garrafa – este último

método é o utilizado na Aveleda. Torna-se necessário que o tempo de injeção de água seja suficiente para um perfeito arrastamento dos detritos ou poeiras existentes e, por outro lado, é necessário que o tempo de esgotamento seja suficiente para a eliminação completa, tanto quanto possível, da água de enxaguamento.

Após este processo terminar, as garrafas são novamente colocadas na linha e são transportadas, através de tapetes transportadores, até ao próximo processo – o enchimento da garrafa. A Figura 7 mostra que o enchimento é um processo realizado com várias garrafas a serem enchidas ao mesmo tempo (neste caso 45 garrafas), sendo a velocidade de enchimento variável, mediante as condições da linha e do vinho.



Figura 7 Enchedora da linha 1

As enchedoras utilizadas na indústria vinícola são, quase exclusivamente, enchedoras de nível constante, ou seja, asseguram um nível constante de vinho no gargalo da garrafa, que pode ser regulado no início da operação, existindo diversos tipos de enchedoras de nível constante, como indica a Figura 8.

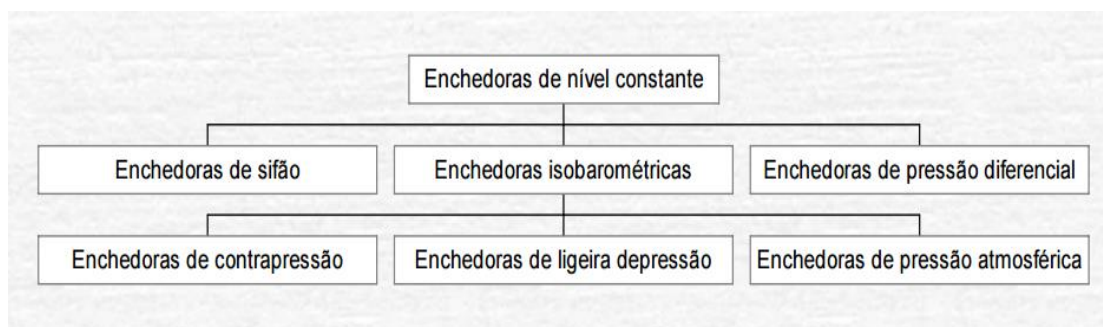


Figura 8 Tipos de enchedoras de nível constante [7]

O nível de enchimento deve ter em conta alguns fatores, nomeadamente a altura correspondente ao volume nominal da garrafa (o volume nominal das garrafas é definido à temperatura de 20° C, mas o enchimento raramente se processa, exatamente, a esta temperatura), o espaço desejado entre o vinho e a rolha (por um lado devido a uma questão de estética e, por outro, para minimizar ou não a câmara gasosa em contacto com o vinho), e a dilatação ou contração do vinho por efeito de aumentos ou diminuições previsíveis de temperatura.

O enchimento processa-se melhor quando a temperatura do vinho se encontra entre os 5° C e os 15° C. A Figura 9 mostra a relação entre a temperatura do vinho e o seu volume.

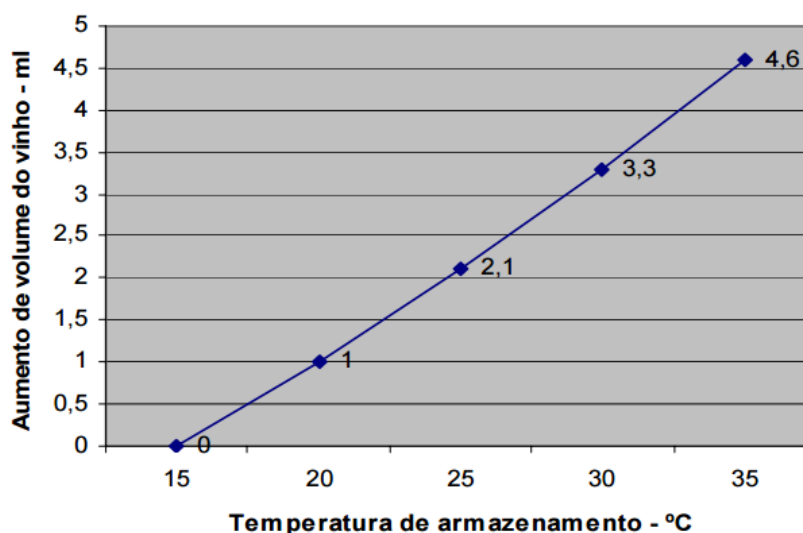


Figura 9 Variação de volume com a temperatura [7]

A etapa seguinte ao enchimento varia mediante o tipo de fecho da garrafa, podendo esta ser rolha de cortiça ou *screw cap*, tratando-se ambas de fechar a garrafa, mas através de meios e máquinas distintos. No caso de a garrafa utilizar a rolha de cortiça o processo é executado

logo de seguida ao enchimento – as garrafas após saírem da enchedora iniciam logo o processo de rolhagem e são arrolhadas 10 garrafas de cada vez, como evidencia a Figura 10.



Figura 10 Rolhador de rolha de cortiça da linha 1

A Figura 11 mostra o processo de fecho de uma garrafa com *screw cap*, sendo o processo realizado após passar pelo rolhador, e sendo arrolhadas 8 garrafas ao mesmo tempo.



Figura 11 Rolhador de cápsula roscada (*screw cap*) da linha 1

O arrolhamento consiste em duas operações sucessivas: a compressão da rolha e a introdução da rolha comprimida no gargalo da garrafa. A primeira é obtida com maxilas metálicas que comprimem a rolha originando um cilindro perfeito [7]. A introdução da rolha no gargalo da garrafa é realizada por um pistão de movimento descendente/ascendente, sendo muito importante a perfeita centragem da garrafa para que a introdução se faça corretamente, sem deformação da rolha ou eventual quebra da garrafa. Esta introdução da rolha provoca uma forte compressão do ar existente acima da superfície livre do vinho. Frequentemente, os defeitos de vedação da rolha resultam de uma má regulação das maxilas do rolhador, provocando o aparecimento de pregas longitudinais nas rolhas, que constituem autênticos canais por onde o vinho se escoia. Atualmente existem alternativas à rolha de cortiça, por exemplo, as rolhas sintéticas, as rolhas “técnicas” e as cápsulas roscadas, também denominadas por *screw cap*. As primeiras podem ser fabricadas por modelagem ou por extrusão, as segundas são fabricadas à base de cortiça, contendo um componente sintético, e as últimas exigem naturalmente uma garrafa com marisa roscada. Na Aveleda utilizam-se rolhas de cortiça e cápsulas roscadas (ver Figura 2), designadas também por *screw cap*.

A rolha de cortiça tem um papel importante na qualidade do vinho devido às suas características peculiares, nomeadamente, a impermeabilidade ao ar e aos líquidos (impedindo a oxidação dos vinhos), as propriedades mecânicas de compressibilidade, resiliência e de adesão à superfície do vidro (evitando a fuga de vinho e/ou a entrada de ar na garrafa), a contribuição para as propriedades sensoriais do vinho (por migração de compostos voláteis e compostos não voláteis solúveis no vinho) e é um produto natural biodegradável e reciclável. No entanto, dado a cortiça se tratar de um produto natural existe uma elevada variabilidade na sua composição química, além de que é suscetível de sofrer contaminações microbianas, com formação de compostos que podem migrar para o vinho e alterar as suas propriedades sensoriais.

Antes da saída da zona de enchimento, as garrafas passam por um inspetor automático (mostrado na Figura 12) que tem como função inspecionar se as garrafas têm rolha/cápsula roscada e se o nível de enchimento corresponde ao estabelecido.



Figura 12 Inspetor de rolha e de nível da linha 1

As garrafas que utilizam rolha de cortiça necessitam de uma operação que as de cápsula roscada não necessitam – a colocação de cápsulas (ver Figura 13). Esta operação tem por finalidade cobrir o gargalo da garrafa de forma a evitar possíveis contactos do ar com o vinho e melhorar a estética do recipiente. Esta operação divide-se em três fases: inicialmente é limpo o gargalo da garrafa, posteriormente é colocada a cápsula e, por fim, esta é prensada a elevada temperatura.



Figura 13 Capsulador de garrafas da linha 1

Seguidamente é altura de ser colocado o respetivo rótulo e contrarrótulo na garrafa (processo efetuado nas rotuladoras), como a ilustrada na Figura 14, sendo este o último processo antes de se colocarem as garrafas nas caixas. O rótulo representa o conjunto de designações, ilustrações e marcas que caracterizam o vinho [8].



Figura 14 Rotuladora da linha 1

Antes das garrafas serem encaixotadas, a máquina de formar caixas transforma o cartão em caixas, como se pode verificar na Figura 15. Quando são formadas caixas de 6 unidades, estas são transportadas diretamente para a encartonadora; no caso das caixas de 12 unidades, estas utilizam divisórias de cartão dentro da caixa e, por este motivo, antes de serem transportadas para a encartonadora passam pela máquina das divisórias, como se mostra na Figura 16.

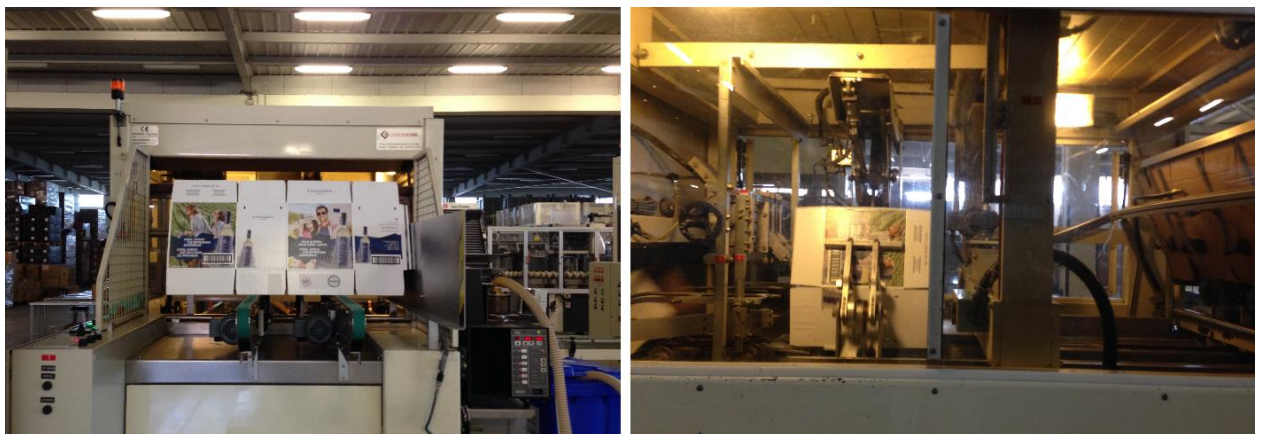


Figura 15 Máquina de formar caixas da linha 1



Figura 16 Máquina das divisórias da linha 1

Já quase no fim da linha as garrafas são transportadas até à encartonadora (Figura 17) para serem colocadas nas respetivas caixas. Neste processo são encaixotadas 48 garrafas de cada vez, quer em caixas de 6 unidades, quer em caixas de 12 unidades.

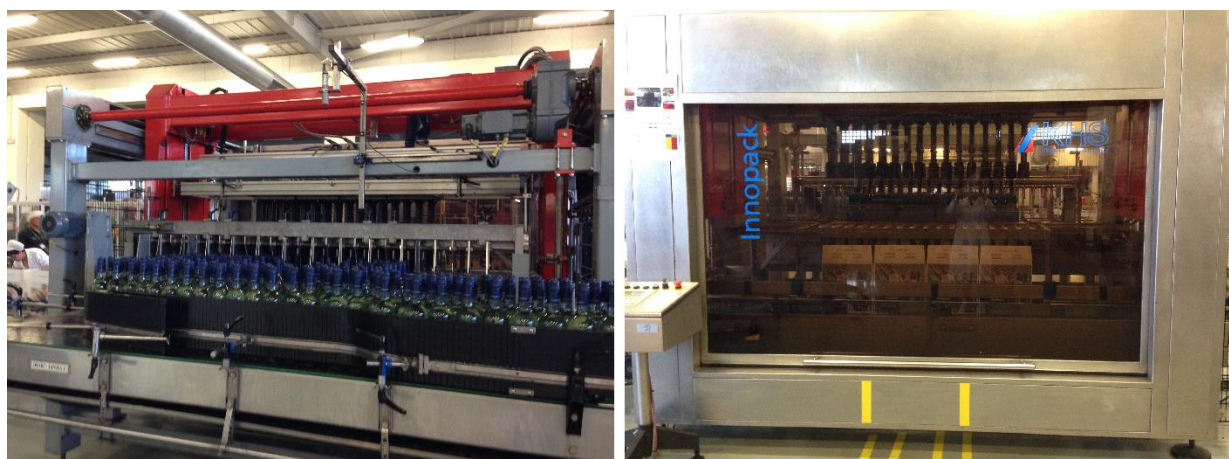


Figura 17 Encartonadora da linha 1

Após as garrafas serem colocadas nas respetivas caixas, estas passam por um inspetor automático de modo a verificar se as caixas têm as garrafas todas lá dentro. Caso não tenham, as caixas são rejeitadas; caso tenham, as caixas são fechadas e transportadas até ao armazém.

A Figura 18 é referente ao inspetor automático utilizado para detetar a presença de anomalias dentro das caixas. Este detetor deteta a falha de garrafas e ainda a falha de cápsulas, e opera por visão artificial.



Figura 18 Inspetor de caixas da linha 1

Por fim, as caixas são fechadas na máquina de fechar caixas (Figura 19) e são encaminhadas para o armazém onde, posteriormente, são formadas as paletes.

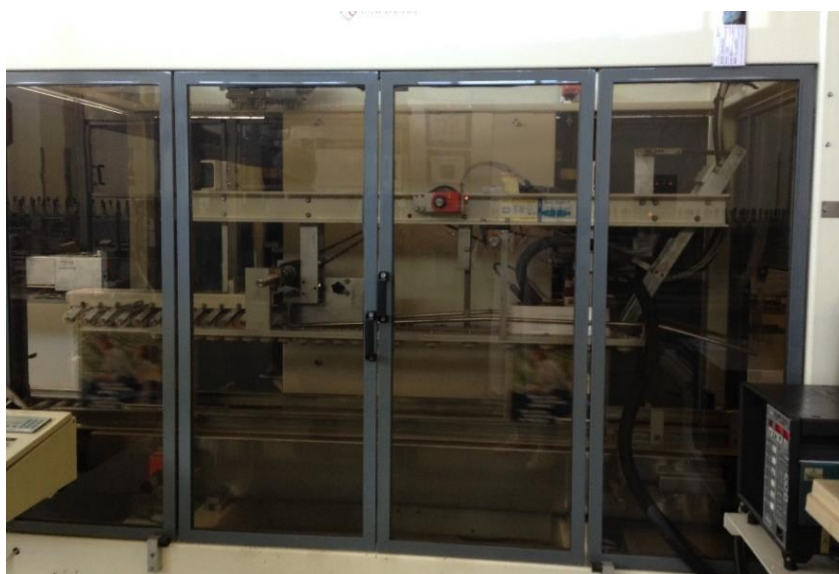


Figura 19 Máquina de fechar caixas

2.3.2. DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO DA LINHA 2

A linha 2 é uma linha com dimensões menores, e que engarrafa maior variedade de vinhos. Esta linha sofre inúmeras mudanças de materiais de produção ao longo do dia, o que diminui ainda mais o volume de produção diário, dado que apresenta sempre tempos mortos, consideráveis, entre as mudanças na linha. Os vinhos engarrafados nesta linha são os seguintes: Aveleda Vinho Verde (ver Figura 20), Aveleda Douro, Quinta da Aveleda, Aveleda Alvarinho, Casal Garcia Sangria, Casal Garcia Vinho Verde Branco, Charamba, Charamba Reserva e Grinalda, e são engarrafadas garrafas de 1 l, 0,75 l e 0,375 l.



Figura 20 Garrafa de vinho mais utilizada na linha 2 [9]

A linha 2 é composta pelo mesmo tipo de equipamentos que a linha 1, dimensionados para valores de funcionamento diferentes. A Figura 21 ilustra a disposição não só da linha 2, como também das linhas 3, 4 e 5.

Primeiramente as garrafas são colocadas na máquina responsável pela despaletização dos paletes de garrafas.

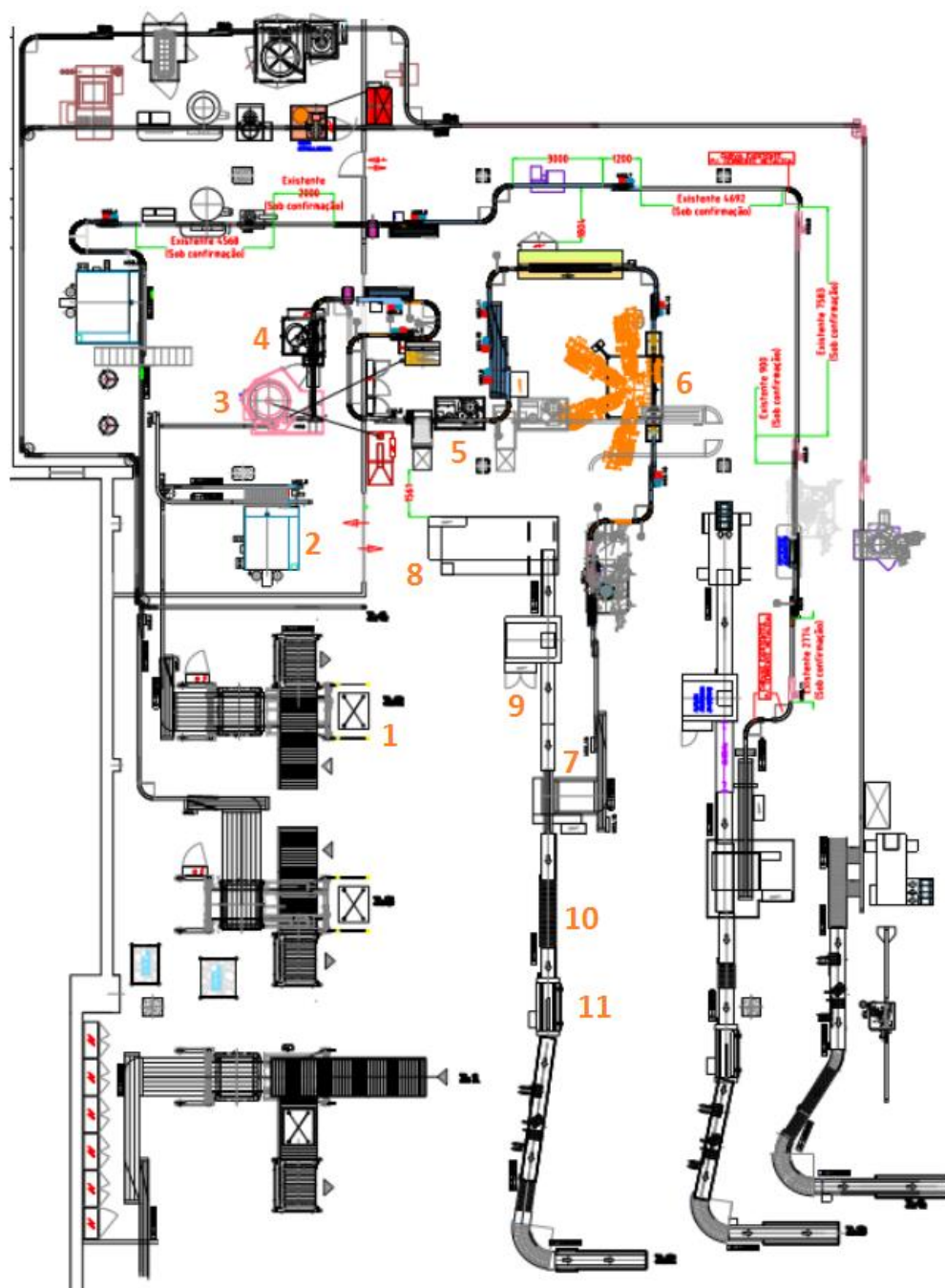
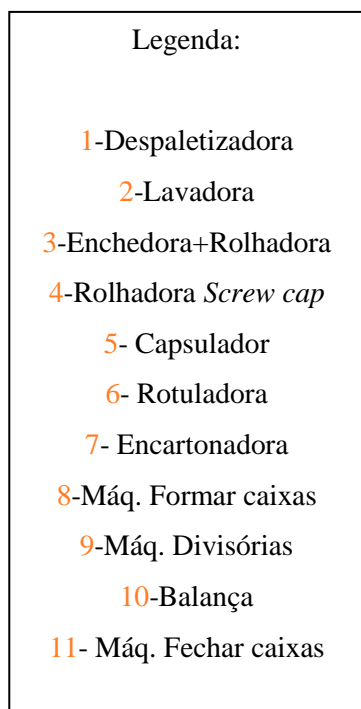


Figura 21 Layout das linhas de engarrafamento 2, 3, 4 e 5

A despaletizadora (Figura 22) opera com várias quantidades de garrafas, isto é, dependendo do tipo de vinho que se pretenda engarrafar as garrafas são diferentes; assim sendo, a quantidade de garrafas por palete é também ela diferente o que, por consequência, leva a que cada camada de garrafas tenha uma quantidade diferente. A máquina tanto coloca na linha 328 garrafas de uma só vez, como 168 garrafas de cada vez.

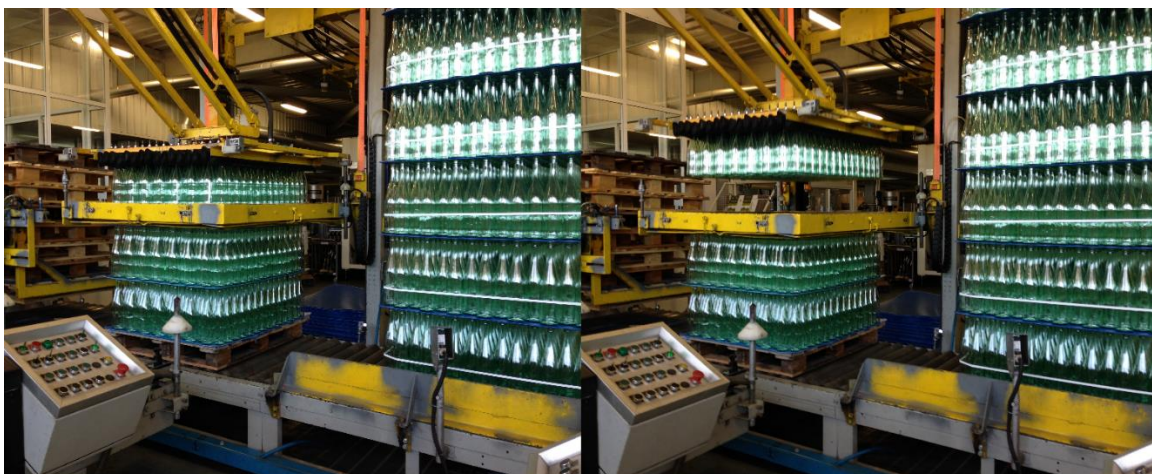


Figura 22 Despaletizadora da linha 2

Também denominada de lavadora, implementada na linha 2 tem capacidade para lavar 220 garrafas em simultâneo, e o seu processo de funcionamento é igual ao utilizado na linha 1, sendo que a única diferença aqui apontada é a quantidade de garrafas que cada uma das máquinas lava em simultâneo. Na Figura 23 é apresentada a enxaguadora da linha 2.

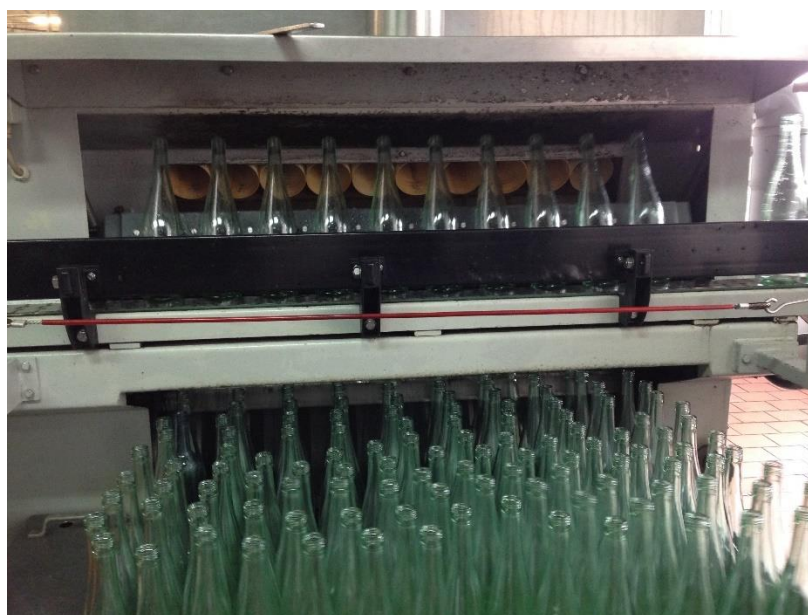


Figura 23 Enxaguadora da linha 2

A enchedora tem 30 bicos de enchimento e é giratória, como mostra a Figura 24, sendo enchidas 30 garrafas de cada vez. Trata-se de uma enchedora do mesmo tipo que a enchedora implementada na linha 1, sendo que a máquina de enchimento da linha 1 possui 45 bicos de enchimento e esta só 30 e não tem capacidade de velocidade de enchimento tão elevada como a da linha 1.

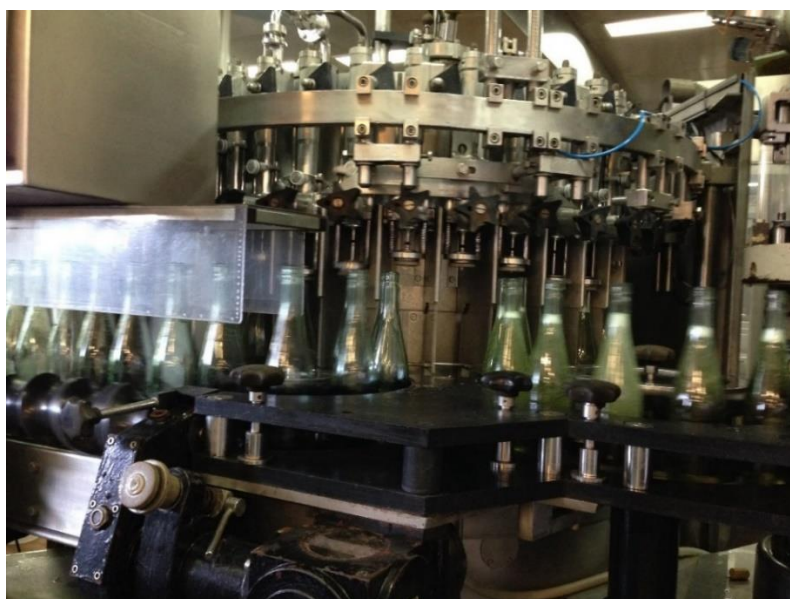


Figura 24 Enchedora da linha 2

O rolhador apresentado na Figura 25 tem capacidade para o arrolhamento de 5 garrafas em simultâneo, e este rolhador é para arrolhar garrafas cuja rolha é de cortiça.



Figura 25 Rolhador da linha 2

A máquina que se segue é também ela um rolhador, mas para garrafas de cápsula roscada, denominada também de *screw cap*. Esta máquina tem capacidade para arrolhar 4 garrafas

em simultâneo. Na Figura 26 é possível visualizar-se a máquina de colocação de cápsulas roscadas para garrafas com marisa roscada.



Figura 26 Rolhador de cápsulas roscadas da linha 2

Após as garrafas serem enchidas e devidamente fechadas com rolha de cortiça, sofrem um processo de capsulagem, processo esse que tem como principal objetivo tapar o gargalo da garrafa, de forma a evitar possíveis contatos do ar com o vinho e melhorar a estética do recipiente. O capsulador da linha 2 é apresentado na Figura 27.

Uma vez capsuladas as garrafas, estas passam para a próxima etapa, a rotulagem. A rotuladora que se encontra na linha 2 é completamente diferente da rotuladora implementada na linha 1, como é visível na Figura 28. A máquina da linha 2 trata-se de uma rotuladora autoadesiva, uma vez que os rótulos e contrarrótulos aqui utilizados são autoadesivos.

Depois de rotuladas as garrafas, estas encontram-se prontas para serem encaixotadas. Assim sendo, é necessário formar as caixas para a colocação das garrafas no seu interior. A Figura 29 apresenta a máquina de formar caixas implementada na linha 2, sendo o seu modo de funcionamento idêntico ao da máquina de formar caixas implementada na linha 1. Esta máquina também forma caixas de 6 e de 12 unidades.



Figura 27 Capsulador implementado na linha 2



Figura 28 Rotuladora da linha 2

A máquina de formar divisórias da linha 2, mostrada na Figura 30, opera quando estão a ser encaixotadas 12 unidades por caixa, uma vez que as caixas de 6 unidades não recorrem ao uso de divisórias de cartão.



Figura 29 Máquina de formar caixas da linha 2



Figura 30 Máquina de formar divisórias da linha 2

A máquina responsável pelo processo de encaixotamento das garrafas é visível na Figura 31. A encartonadora da linha de engarrafamento 2 está habilitada para caixas de 6 e de 12 unidades. Aquando do uso de caixas de 6 unidades a máquina encaixota 12 garrafas em simultâneo, logo 2 caixas de cada vez; aquando da utilização de caixas de 12 unidades, apenas é encaixotada uma caixa, sendo na mesma encaixotadas 12 garrafas de cada vez.

Trata-se de uma máquina com menos tecnologia e menos capacidade de encaixotamento, quando comparada com a encartonadora da linha 1.



Figura 31 Encartonadora

A máquina de fechar caixas da linha 2 é a apresentada na Figura 32.



Figura 32 Máquina de fechar caixas

Relativamente às outras duas linhas em funcionamento, na linha 4 produzem-se as garrafas minis, de 0,185 l de Casal Garcia Vinho Verde Branco e Casal Garcia Vinho Verde Rosé, e na linha 5 engarrafam-se garrafas de 1,5 l de Aveleda Vinho Verde.

Inicialmente, foram recolhidos dados relativos aos tempos de ciclo de funcionamento de cada uma das máquinas das linhas 1 e 2, sendo que se encontram anexadas tabelas com valores mais detalhados, nos Anexos A e B.

3. ESTUDO TEÓRICO DO PRIMEIRO OBJETIVO: ANÁLISE DE POSSIBILIDADES DE MELHORIAS

Ao longo deste capítulo são apresentados os passos que devem ser seguidos de modo a ser possível a realização de um estudo de tempos das operações.

3.1. ESTUDO DE TEMPOS

O Estudo de Tempos (ET), por vezes referenciado como medida do trabalho, permite registar os tempos para os elementos de uma dada operação ou tarefa, executada em determinadas condições, e analisar os dados recolhidos, a fim de se obter o tempo necessário para executar esta tarefa a um nível de rendimento bem definido.

O ET tem como principais finalidades estabelecer padrões de produção, fornecer dados para determinação de custos, fornecer dados para balanceamento de linhas de produção,

determinar os objetivos da supervisão, determinar o rendimento da mão-de-obra, determinar o número de máquinas que uma pessoa pode operar, dividir o trabalho em grupos ou em sequências, para comparar métodos, para determinar necessidades de mão-de-obra, para proporcionar uma base para estabelecimento de incentivos salariais e, por fim, para determinar as necessidades de equipamentos [10].

Através de uma análise metódica, estabelecem-se tempos padrão, quantidade de tempo requerido para a realização de uma tarefa específica, por um trabalhador qualificado para realização da tarefa, medindo o conteúdo de trabalho com base num determinado método. Quando se efetua um estudo corretamente é permitido obter informação útil e necessária ao aumento de eficiência.

O ET pode ser utilizado para a determinação de tempos padrão para operações ou tarefas já sistematizadas, como ferramenta de apoio ao Estudo de Métodos, como apoio à análise (fator de medição). O Estudo de Métodos consiste, assim, em identificar a forma como se realizam produtos, operações ou tarefas e na proposta de melhorias.

Quando corretamente utilizado, o estudo dos tempos permite obter informação útil e necessária para fundamentar opções e decisões com vista ao aumento da produtividade e tornar mais eficaz o sistema de remunerações e de incentivos do trabalho. Não pode nunca ser esquecido que o desenvolvimento de um estudo de tempos influencia as relações de trabalho em qualquer organização. Como tal, para além do domínio das técnicas envolvidas em qualquer estudo de métodos e identificação de tempos padrão, é necessário prever mecanismos de envolvimento de toda a organização, através da comunicação de objetivos, de esclarecimentos e da discussão ativa, promovendo uma abordagem à medição do trabalho claramente “humana”.

Finalmente convém referir que, embora a definição de padrões de tempo permita determinar “quanto tempo demora”, não pode ser esquecida a necessidade de padrões de custo fiáveis que transformem o “quanto tempo demora” em “quanto custa” em unidades monetárias.

Tal como no Estudo dos Métodos, a primeira fase consiste em escolher o trabalho a estudar – em regra, existe sempre uma razão para que se efetue um ET.

Existem vários métodos para estudo dos tempos e, para a determinação do tempo padrão, pode recorrer-se ao ET através dos métodos mais usuais, sendo eles os dados históricos ou

tempos informais, o método das cronometragens e ainda o método das observações instantâneas, também designado por método das amostragens.

Qualquer um destes métodos requer a sua adequação à especificidade do trabalho a medir e aos objetivos pretendidos, sendo também necessária a sua aplicação correta e criteriosa.

Para que seja possível a realização de um estudo preciso, torna-se indispensável registar todos os dados relativos às condições em que o trabalho é efetuado, aos métodos e aos elementos de atividade, pois o que será feito é uma descrição, por escrito, do método utilizado na execução.

Há vários aspetos a ter em conta quando se realiza um estudo de tempos, e ainda um conjunto de dados que devem ser recolhidos, como se descreve de seguida.

3.2. MÉTODOS PARA SE EFETUAR O ESTUDO DE TEMPOS

Para que seja possível a realização do ET é necessário recorrer-se a um conjunto de procedimentos para a realização do mesmo. Esses procedimentos variam mediante o método escolhido a utilizar durante o estudo dos tempos de operações.

Para efetuar-se este tipo de estudo, também é relevante ter em conta alguns aspetos, nomeadamente o fator de ritmo e as concessões, sendo a concessão a percentagem de tempo médio de trabalho que é permitida para atrasos inevitáveis.

3.2.1. DADOS HISTÓRICOS OU TEMPOS INFORMAIS

Por norma todas as empresas têm algum tipo de tempos padrão de produção. Existem tempos informais baseados no conhecimento do trabalho e em desempenhos passados. Trata-se de um processo barato e rápido de formular, sendo os tempos informais subjetivos, inconsistentes e sujeitos a desvios. O principal problema deste método deriva de existir um desconhecimento da sua fiabilidade e dos erros que comportam. Desta forma, os riscos associados à utilização deste método podem ser grandes, porém este método é a única abordagem possível em sistemas produtivos onde os produtos e as operações mudam constantemente [11].

3.2.2. MÉTODO DAS CRONOMETRAGENS

Tal como referido anteriormente, no método da cronometragem o trabalho é observado diretamente, sendo o tempo medido. O estudo de tempos por cronometragem, originalmente desenvolvido por Taylor, é a técnica mais amplamente usada para medição do trabalho, em tarefas breves e repetitivas. A precisão deste método depende da uniformidade dos tempos, isto é, quanto maior a amplitude de variação dos tempos por elemento ou por ciclo, maior será o número de ciclos a serem cronometrados [11].

Na implementação deste método existem várias possibilidades de leitura:

1. A contínua, em que o cronómetro usado é do tipo de recuperação, ou seja, funciona de início ao fim da cronometragem sem voltar a zero, apenas é parado ao término de cada elemento para leitura de tempo. No fim do estudo é obtido o tempo real de cada leitura por subtração, tendo-se ainda o tempo total de trabalho;
2. A leitura repetitiva baseia-se no facto de o cronómetro ser retornado a zero ao final de cada leitura de cada elemento ou do ciclo da operação, sendo aqui o grau de precisão prejudicado pela perda de tempo de retorno a zero;
3. A leitura acumulada permite uma leitura direta e real de cada elemento através do uso de dois cronómetros montados com uma ligação mecânica entre eles. Para cronometragem contínua, o mecanismo é manipulado de modo a que no final de cada elemento um dos cronómetros é parado e o outro começa a funcionar. O cronómetro parado é lido e os tempos elementares são obtidos posteriormente, pela subtração de leituras alternadas. Para cronometragem com retorno a zero, o cronómetro é levado a zero após a leitura e os tempos elementares são lidos diretamente [10].

A cronometragem pode ser preliminar ou normal. A preliminar trata-se daquela em que se cronometra uma operação pela primeira vez com o objetivo de determinar o método de trabalho, ou quando se tem o método, mas o produto está em experiência. A normal aplica-se quando se segue um método já determinado por um operador e todas as condições de trabalho são normais.

A metodologia a usar passa pela seleção e registo da informação acerca da operação e da máquina/operador, pela verificação dos métodos e condições de trabalho, isto é, identificar e registar claramente as condições iniciais.

Deve ser feita a divisão e descrição dos elementos da operação, isto é, uma operação deve ser dividida em elementos curtos e com cronometragem individual. A divisão da operação em elementos permite uma análise detalhada de cada um, permite ainda uma melhor descrição da operação, melhor medição dos tempos, avaliação do ritmo e dados obtidos.

O tempo necessário para a execução dos elementos de uma operação, pode variar de ciclo para ciclo. A determinação da dimensão da amostra deverá ter em consideração três aspetos importantes:

- variabilidade dos tempos observados;
- precisão desejada para o tempo padrão;
- nível de confiança pretendido.

3.2.3. MÉTODO DAS AMOSTRAGENS

Trata-se de uma técnica de medida do trabalho que requer a observação direta do trabalho, mas não necessita de um estudo cronometrado para definir padrões.

Este método consiste em obter um número de observações intermitentes, instantâneas e espaçadas aleatoriamente, de uma atividade para, a partir daí, inferir percentagens de tempo dedicado a cada elemento da operação.

O método é adequado a tarefas intermitentes ou de ciclo longo que tornam as cronometragens desapropriadas ou, pelo menos, muito onerosas. As observações instantâneas são utilizadas intensamente na medição dos tempos de trabalho e de não trabalho para determinar margens de repouso e margens para necessidades pessoais ou, então, na estimativa do nível de ocupação de máquinas e dos níveis de utilização de ferramentas e, ainda, em estimativa da percentagem de tempo para cada operação. Por fim, também se aplica na medição do tempo dedicado a uma operação e determinação de um tempo padrão.

A metodologia passa por identificar e registar as condições iniciais, identificar e definir o conjunto de estados do operador que se pretendem observar e medir. Cada estado deve ser perfeitamente identificável através de observação direta para que em cada observação apenas surja um estado. Cada observação aleatória do estado do operador deve ser registada [11].

A dimensão da amostra depende da precisão que se deseja para o estudo e da proporção do tempo total relativa (p) à atividade em estudo.

Se for conhecida aproximadamente essa proporção, pode-se fazer logo o planeamento do estudo. Caso contrário, terá de se fazer uma amostragem preliminar, sem preocupações de grande precisão, mas que dê uma ideia de ordem de grandeza de p .

Deste modo, fica-se a saber quantas observações são necessárias efetuar. A partir daqui é possível calcular o número de observações diárias, sabendo o tempo total disponível para o estudo.

O planeamento das observações, que se aplica ao estudo de tempos por amostragem, poderá ser feito utilizando uma tabela ou um programa gerador de números aleatórios [24].

Se for necessário um grande número de observações, o analista nem terá tempo de se afastar do local a estudar, mas deverá ter o cuidado de modificar o seu caminho ao acaso, fazendo variar os percursos. Se tiver este cuidado, poderá dispensar a preparação antecipada dos tempos, pois o seu percurso será, de facto, aleatório.

Outro aspeto importante da amostragem do trabalho é a preparação do registo das observações. Para isso, há que definir todas as categorias de atividade que sejam relevantes para o estudo.

3.3. PRECISÃO DA AMOSTRA

Quando se efetua um estudo dos tempos, por cronometragem ou por amostragem, verifica-se que, mesmo que o trabalhador tente manter um ritmo constante, há sempre diferenças entre os tempos cronometrados para o mesmo elemento.

Esta variabilidade pode levantar dúvidas quanto à fiabilidade das medições feitas, designadamente sobre o facto de serem ou não representativas do “verdadeiro” tempo elementar. Este valor depende de dois fatores, a variabilidade (dispersão) das observações que é determinada por uma medida estatística de dispersão, pelo desvio-padrão ou pela amplitude do intervalo de variação e o número, N , de observações efetuadas.

A precisão do estudo depende da finalidade. Embora haja alguma amplitude na sua especificação, o analista pretende obter resultados satisfatórios sob o ponto de vista da

precisão, mas ao mesmo tempo não quer fazer um número excessivamente grande de observações. Para isso deve-se antecipadamente determinar o número de observações a realizar para um determinado grau de precisão.

3.4. CORREÇÕES, COMPLEMENTOS OU COEFICIENTES

Nos Estudos dos Métodos convém reduzir sempre ao mínimo a energia que é despendida pelo operador para realizar a sua tarefa, mas com o aperfeiçoamento dos métodos e dos processos, segundo os princípios de economia de movimentos e, sempre que possível, com a ajuda da mecanização/automação. Contudo, a execução de um trabalho exige sempre ao operador o gasto de esforço, mesmo quando se adota o método de operação mais prático, económico e eficaz. Dado isto, deve-se prever um determinado conjunto de tempo para lhe permitir repousar e compensar a fadiga. São chamadas correções de fadiga. Devem também ser tidas em consideração as necessidades pessoais do operador, chamadas correções para necessidades pessoais, tal como mostra a Figura 33 pelo que se deve prever algum tempo para esse efeito [10]. Estas correções costumam também ser designadas por concessões.

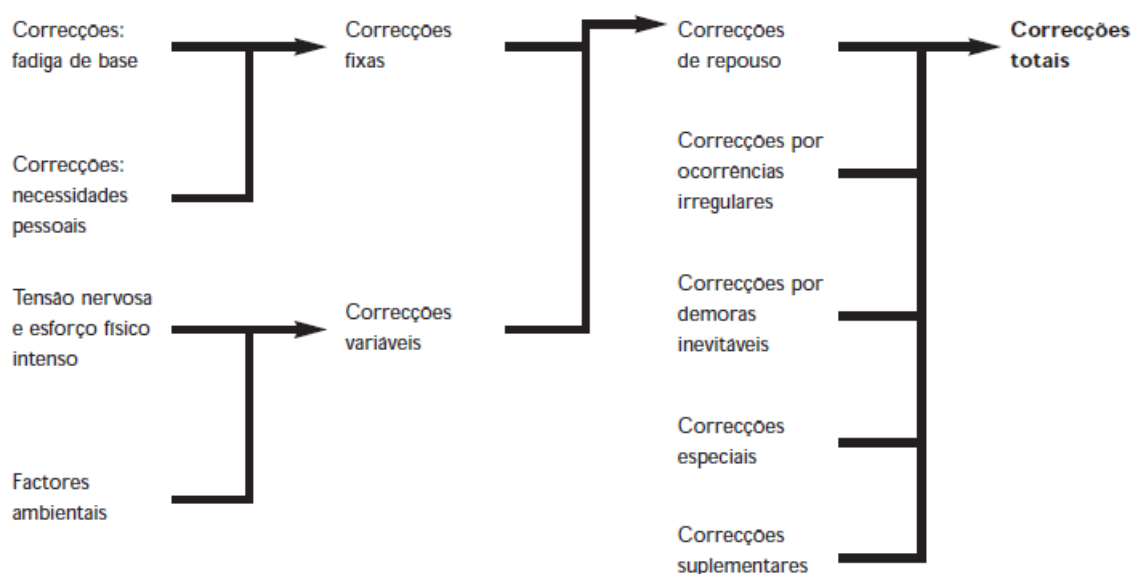


Figura 33 Diversas categorias de correções [10]

3.5. RESULTADOS DOS TEMPOS RECOLHIDOS

Apresenta-se abaixo a Tabela 2, onde são apresentados os números de ciclos referentes a cada uma das máquinas da linha 1, assim como o número de garrafas que cada máquina está preparada para produzir e ainda o tempo médio de ciclo de cada uma das máquinas. Estes

dados foram obtidos através do método das cronometragens [23], tendo sido recolhidas 72 amostras, para cada um dos equipamentos da linha 1.

Tabela 2 Dados recolhidos relativos aos tempos de ciclo das máquinas da linha 1

Máquina	Nº ciclos/min	Nº ciclos/h	Nº garrafas/h	Média do tempo de funcionamento das máq.s (s)
Despaletizadora	1,3	76,0	24938	47,35
Lavadora	0,5	28,4	12483	126,89
Enchedora	4,2	250,3	11266	14,38
Rolhador	19,9	1192,1	11921	3,02
<i>Screw cap</i>	24,7	1481,5	11852	2,43
Capsulador_1	57,1	3428,6	13714	1,05
Capsulador 2	33,3	2000,0	12000	1,8
Capsulador 3	35,9	2155,7	17246	1,67
Rotuladora	14,3	857,1	12857	4,2
Formar caixas_6	15,4	925,4	-	3,89
Formar caixas_12	7,6	458,6	-	7,85
Formar divisórias	12,7	759,5	-	4,74
Encartonadora_6	3,9	235,8	11316	15,27
Encartonadora_12	3,7	225	10787	16,02
Fechar caixas	15,5	927,8	-	3,88

Também para a análise da linha 2, foi utilizado o mesmo método de estudo, cronometragens. Dado tratar-se de uma linha mais pequena, a quantidade de amostras recolhidas foram 54. A Tabela 3 representa resumidamente os números de ciclos de cada uma das máquinas da linha 2, assim como o número de garrafas que produz por hora e ainda o seu tempo médio de ciclo.

Tabela 3 Dados recolhidos relativos aos tempos de ciclo das máquinas da linha 2

Máquina	Nº ciclos/min	Nº ciclos/h	Nº garrafas/h	Média do tempo de funcionamento das máq.s (s)
Despaletizadora	0,8	49	10865	73,89
Lavadora	0,5	31	6880	115,12
Enchedora	3,6	214	6409	16,85
Rolhador	22,8	1369	6844	2,63
<i>Screw cap</i>	26,6	1593	6372	2,26
Capsulador_1	35,7	2143	6429	1,68
Rotuladora	20,2	1212	7273	2,97
Formar caixas_6	13,25	795	-	4,53
Formar caixas_12	6,6	397	-	9,07
Formar divisórias	17,9	1075	-	3,35
Encartonadora_6	8,7	523	6278	6,88
Encartonadora_12	8,7	523	6278	6,88
Fechar caixas	5,8	350	-	10,3

4. MELHORIA DO FUNCIONAMENTO DA LINHA

Ao longo deste capítulo efetuar-se-á uma análise aos problemas detetados, melhorias implementadas e ainda aos resultados obtidos.

Aqui serão descritos os procedimentos de melhorias na linha.

4.1. PROBLEMAS DETETADOS

Como em qualquer linha de produção, logicamente existem sempre problemas, uns que podem ser melhorados e outros onde a dificuldade para melhorar é maior. Contudo, foram identificados alguns problemas que através de alguma análise se conseguiram melhorar. Apresentam-se de seguida estes casos.

4.1.1. PROBLEMAS EM TRANSPORTADORES DE GARRAFAS

Inicialmente percebeu-se que um dos problemas residia na parte quase final de linha, na zona entre a rotuladora e a encartonadora. A rotuladora encontrava-se em paragens constantes

devido a sistemáticas acumulações de garrafas no transportador que antecede a encartonadora quando se acumulava uma determinada quantidade de garrafa que fossem suficientes para atuar o interruptor fim-de-curso, como é observável na Figura 34.



Figura 34 Interruptores fim-de-curso dos transportadores que antecedem a encartonadora

Estes sensores fim-de-curso, um em conjunto com o outro, quando acionados pelo acumular de garrafas, provocavam a paragem imediata na rotuladora, o que levava a picos de consumos de energia no “pára-arranca” da máquina, além de que isso levava a que depois a encartonadora tivesse uma queda de abastecimento e, por consequência, demorava mais tempo até ficar novamente abastecida.

4.1.2. PROBLEMAS NA MÁQUINA DE FORMAR CAIXAS

Outro aspeto detetado foi em termos de eficiência energética. A máquina de formar caixas encontra-se sempre em constante funcionamento, isto é, quando a máquina está a formar caixas e mesmo quando não está a formar caixas, esta encontra-se em movimento.

Este equipamento funciona em conjunto com uma fotocélula incorporada no transportador de caixas que antecede a máquina das divisórias – esta fotocélula dá indicação à máquina de formar caixas da necessidade de se formarem ou não caixas. Quando a fotocélula se encontra ocupada, com caixas em acumulação, esta envia essa indicação à máquina de formar caixas e, por consequência, esta não forma caixas até indicação contrária por parte da fotocélula. Contudo, a máquina de formar caixa continua a executar os mesmos movimentos que executa aquando da formação de caixas.

Assim sendo, como esta se encontra quer em desgaste mecânico, quer em desperdício de energia, reside também aqui uma lacuna para se resolver.

4.1.3. PROBLEMAS EM TRANSPORTADORES DE CAIXAS

Também associada à eficiência energética, se encontrou aqui um problema. Os transportadores que antecedem a encartonadora encontram-se em constante movimento, tal como anteriormente explicado em relação à máquina de formar caixas – trata-se de um problema semelhante, só que em equipamentos distintos.

Mesmo o transportador estando completamente ocupado por caixas, e sem que a encartonadora necessitasse dessas mesmas caixas, os transportadores estavam sempre a andar, ora isso traduz-se uma vez mais em desperdício de energia.

4.1.4. PROBLEMA NO TEMPO DE CICLO DE FUNCIONAMENTO DA ENCARTONADORA

Aquando do levantamento dos tempos de ciclo de funcionamento de cada máquina, percebeu-se que a encartonadora tinha um tempo de ciclo de funcionamento que, quando comparado com as características de origem da máquina, podia ser melhorado.

4.2. MELHORIAS IMPLEMENTADAS

Face aos problemas detetados ao longo da linha durante o estágio, foram implementadas algumas melhorias no sentido de dar resposta aos problemas acima mencionados.

4.2.1. MELHORIA NOS TRANSPORTADORES DE GARRAFAS

Relativamente ao primeiro problema mencionado, a melhoria passou pela reprogramação do autómato, de modo a que os sinais dos interruptores fim-de-curso não parassem imediatamente a rotuladora.

A Figura 35 explica o funcionamento da ativação dos fins-de-curso.

Neste caso, alteraram-se os *timers* de atuação dos fins-de-curso, de 30 segundos para 50 segundos. Ainda se alterou o sinal do fim-de-curso 1 para o fim-de-curso 2 (ver Figura 34), isto é, anteriormente o fim-de-curso 1 dava ordem de fecho de garrafas à rotuladora quando se encontrava acionado o fim-de-curso 1. Atualmente é o fim-de-curso 2 que dá ordem de fecho de garrafas à rotuladora quando o transportador se encontra em situação de acumulação de garrafas durante, pelo menos, os 50 segundos anteriormente definidos. Caso o fim-de-curso esteja acionado, mas não alcance os 50 segundos, a rotuladora apenas diminui

a sua velocidade de 11000 garrafas por hora, para 5000 garrafas por hora, até que o fim-de-curso deixe de estar acionado.

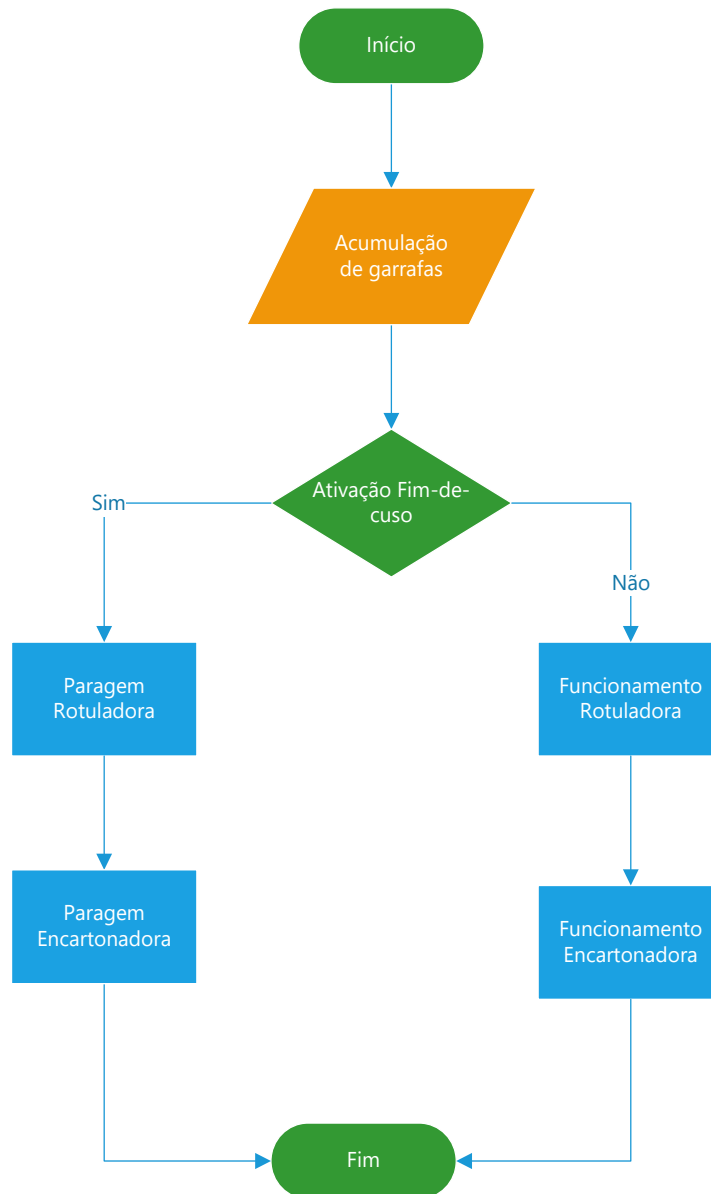


Figura 35 Fluxograma do funcionamento dos fins de curso

4.2.2. MELHORIA NA MÁQUINA DE FORMAR CAIXAS

A melhoria aqui implementada passa pela alteração do esquema elétrico já implementado (Anexo C), tendo havido a necessidade de implementação de um relé (ver Figura 36), para o caso da máquina de formar caixas tenha a saída cheia, esta deixe de efetuar o movimento mecânico da formação das caixas.

Através do sinal da fotocélula que indica saída cheia, a máquina para o seu funcionamento, bem como desliga o ar comprimido.



Figura 36 Quadro elétrico com implementação de novo relé

O relé trabalha de acordo com o sinal indicado pela fotocélula implementada no transportador de caixas à saída da máquina de formar caixas, como mostra a Figura 37.



Figura 37 Transportador à saída da máquina de formar caixas e respectiva fotocélula

Assim sendo, a máquina que não está a executar o seu processo de operação não necessita de estar em constante movimento, em desperdício de energia e em desgaste mecânico.

4.2.3. MELHORIA NOS TRANSPORTADORES DE CAIXAS

No que respeita ao problema dos transportadores de caixas, a solução implementada foi a paragem dos mesmos quando estes se encontram completamente cheios com caixas, tal como ilustra a Figura 38.



Figura 38 Fotocélula responsável pela leitura da acumulação de caixas

Desta forma, mais uma vez houve a necessidade da reprogramação do autómato, implementando um contador e também a implementação de um relé. Sempre que a fotocélula estiver fechada por acumulação de caixas o transportador será parado ao fim da contagem realizada pelo contador implementado no programa do autómato (estabeleceu-se um contador de 200) (ver Figura 39).

Assim que a encartonadora entra em funcionamento surge a necessidade de transportar caixas para a mesma. Neste momento a encartonadora dá indicação para os transportadores iniciarem novamente o seu funcionamento e, para que a fotocélula conseguisse fazer uma leitura correta das caixas, surgiu a necessidade de se aumentar a velocidade do transportador imediatamente antes do transportador à entrada da encartonadora, de modo a que as caixas se afastassem e dessem espaço para a fotocélula fazer a leitura das mesmas. Dado tratar-se de um motor sem variador de frequência, teve que se alterar o carreto do motor.

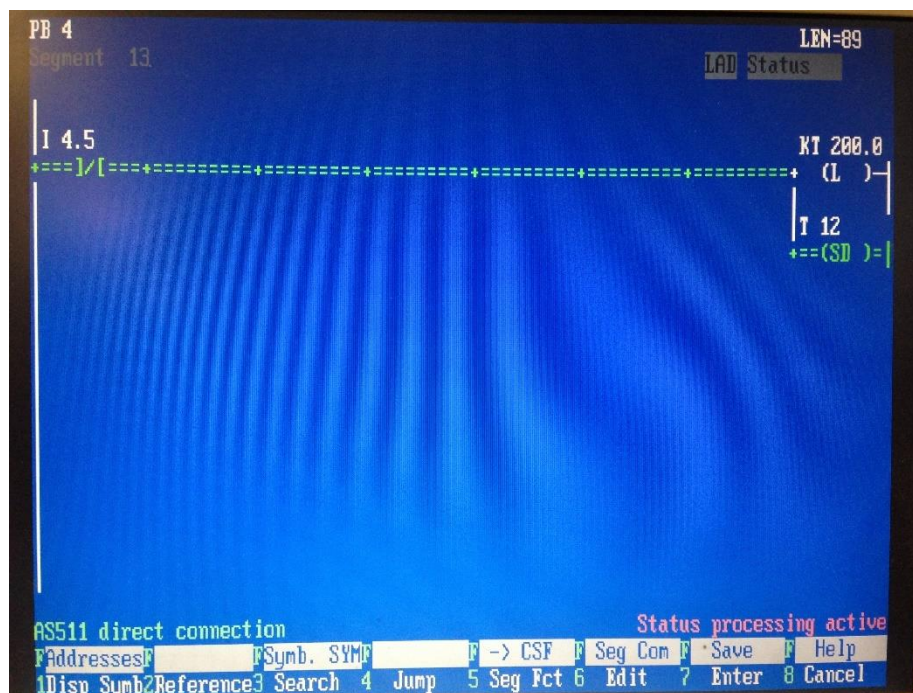


Figura 39 Implementação do contador no PLC

A Figura 40 mostra os carretos que foram substituídos para satisfazer as necessidades pretendidas.



Figura 40 Carretos que foram substituídos dos motores dos transportadores

A Figura 41 representa os transportadores que atualmente param o seu funcionamento sempre que necessário.



Figura 41 Transportadores que sofreram alteração

4.2.4. MELHORIA NO TEMPO DE CICLO DE FUNCIONAMENTO DA ENCAIXOTADORA

Uma vez analisado e estudado o tempo de ciclo de funcionamento da encartonadora, decidiu-se melhorá-lo de forma a aumentar o número de garrafas encaixotadas por dia. A alteração foi feita através da reprogramação da frequência com que o transportador expulsa as caixas do interior da máquina. Anteriormente tinha-se uma frequência de 66 Hz e atualmente encontra-se a 74 Hz.

Mediante esta alteração, sentiu-se a necessidade de ter que fazer uma outra alteração, mas desta vez fora da máquina. Dado que a encartonadora passou a ter um tempo de ciclo de funcionamento inferior (de 15,27 segundos passou para 14,44 segundos), as caixas obrigatoriamente também necessitam de entrar na máquina a uma velocidade superior. Na Tabela 4 são apresentadas as velocidades anteriores e as atuais dos respetivos transportadores que sofreram alteração de carretos.

Tabela 4 Velocidades antes e após alteração dos carretos

Tapete	Velocidade Média			
	m/min.		mm/s	
	Antes	Depois	Antes	Depois
Frente divisórias	23,83	53,78	397,17	896,51
Seguinte antes da encartonadora	47,29	54,06	788,17	901,18

Contudo, o motor associado ao transportador de caixas não possui variador de frequência tendo que se recorrer à alteração do número de dentes dos carretos do motor, passando-os de 21 dentes para 25 dentes, de 17 para 15 dentes e de 15 para 13 dentes (ver Figura 40), aumentando assim a sua velocidade, dando resposta às necessidades da encartonadora.

A Figura 42 mostra as alterações implementadas nos carretos dos motores.

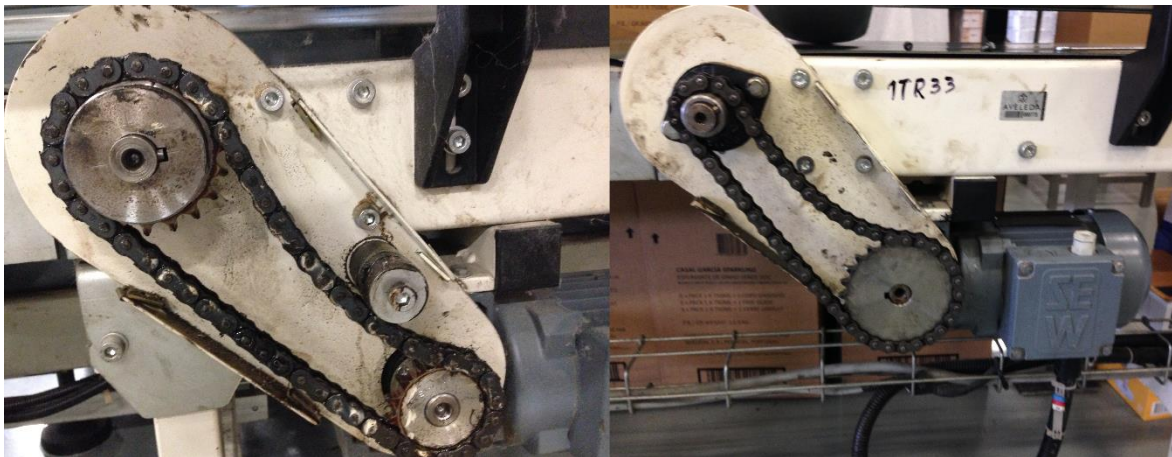


Figura 42 Alteração implementada ao nível dos carretos

4.3. RESULTADOS OBTIDOS

Em termos quantitativos, no que diz respeito à máquina de formar caixas, o resultado obtido passa pela diminuição do consumo de energia. A Tabela 5 apresenta os dados referentes aos consumos de energia antes e depois da implementação da melhoria na máquina de formar caixas da linha 1.

Tabela 5 Consumos energéticos da máquina de formar caixas antes e depois da implementação da melhoria

Estado	Data	Consumo (kW)	Custo total (€)
Antes	06/06/2016	29,94	3,89
Antes	07/06/2016	29,2	3,8
Depois	21/06/2016	25,81	3,03
Depois	22/06/2016	25,48	3,23
Total dias trabalho ano		Poupança/dia €	Total €
195		0,71 €	139,25 €

Nos transportadores de caixas o resultado é também uma redução de consumos, uma vez que se trata de melhoria em termos de eficiência energética. A Tabela 6 apresenta os valores dos consumos energéticos antes e após a implementação da alteração na linha 1.

Tabela 6 Consumos energéticos dos transportadores de caixas antes e depois da implementação da melhoria

Estado	Data	Consumo (kW)	Custo total (€)
Antes	04/07/2016	4,4	0,5716
Antes	05/07/2016	4,3	0,5603
Depois	25/07/2016	1,3	0,1643
Depois	26/07/2016	1,7	0,2223
Total dias trabalho ano		Poupança/dia €	Total €
195		1,33 €	258,42 €

Por fim, a alteração feita na encartonadora, também ela notória, uma vez que inicialmente esta máquina necessitava de cerca de 15,27 segundos para realizar a sua tarefa e com a alteração implementada a mesma máquina passou a necessitar de cerca de 14,44 segundos.

A Tabela 7 permite perceber-se os ganhos obtidos com a implementação da melhoria na encartonadora.

Tabela 7 Resultados relativos à melhoria implementada

Estado	Data	OEE global	OEE líquido	Ganhos	
Antes	28-04-2016 a 12-05-2016	66,98%	68,20%	garrafas/hora	215
Depois	16-05-2016 a 31-05-2016	67,19%	69,67%	garrafas/semana	8593
Melhoria		0,31%	2,15%	garrafas/ano	446818
Ganho/ano €	29 043 €				

5. ESTUDO TEÓRICO DO SEGUNDO OBJETIVO: SIMULAÇÃO DE PROCESSOS

Ao longo deste capítulo aborda-se o tema da simulação de processos. São aqui apresentados os diferentes modelos de simulação, a metodologia da simulação de processos e ainda métodos para efetuar a verificação e validação do modelo de simulação.

A simulação de processos é constituída por cinco fases: a fase de aquisição de conhecimentos e análise, a fase de modelação, a fase de execução, a fase de análise do sistema e, por fim, a fase de desenvolvimento e reformulação.

5.1. INTRODUÇÃO À SIMULAÇÃO

A simulação tem vindo a contribuir ao longo dos tempos para a análise e compreensão de sistemas complexos. Habitualmente é utilizada e divulgada na indústria com resultados credíveis. No caso específico das engenharias, a técnica de simulação tem trazido diversos benefícios, nomeadamente no que diz respeito à previsão de resultados na execução de uma

determinada ação, na ajuda na redução de riscos na tomada de decisão, na capacidade de identificar problemas antes da sua ocorrência, na eliminação de procedimentos industriais que não agregam valor à produção, na ajuda na redução de custos com o emprego de recursos, entre outros aspetos.

Designa-se por simulação a imitação da operação de um processo, ou sistemas, do mundo real ao longo do tempo. Isto é, trata-se da técnica de estudar o comportamento e reações de determinados sistemas através de modelos. A simulação de processos permite que se efetue uma análise de sistemas sem a necessidade de interferir no mesmo. Desta forma, é possível garantir que todas as mudanças que se façam, e as consequências das mesmas, por maiores que sejam, ocorrerão apenas no modelo e não no sistema real [12].

A simulação computacional é um estudo de baixo custo relativo, visto que todo o trabalho de implementação é testado no computador, permitindo ainda o teste de inúmeros cenários e alternativas de solução para os sistemas em estudo.

Por exemplo, o comportamento de um sistema de medida que evolui ao longo do tempo pode ser estudado através do desenvolvimento de um modelo de simulação. Este modelo geralmente assume a forma de um conjunto de hipóteses sobre o funcionamento do sistema. Este tipo de características fez da simulação uma das ferramentas mais utilizadas em vários tipos de projetos, quer a nível de pesquisa, como em análise da operação de sistemas.

Uma vez desenvolvido e validado, um modelo pode ser usado para investigar uma grande variedade de perguntas sobre o sistema real. As potenciais alterações ao sistema podem primeiro ser simuladas a fim de prever o seu impacto no desempenho do sistema.

Neste âmbito, a simulação de processos pode ser utilizada como uma abordagem eficaz para testar novas opções e cenários de *layouts* sem incorrer nos riscos e custos de os experimentar na prática.

A simulação pode ser utilizada para várias finalidades uma vez que permite o estudo e a experimentação com as interações internas de um sistema ou subsistema dentro de um sistema complexo, sendo que podem ser observados os efeitos das alterações no comportamento do modelo.

Desta forma, pode-se afirmar que o conhecimento adquirido durante o projeto e desenvolvimento de um modelo de simulação poderá ser de grande valor para possíveis surgimentos de melhorias no sistema sob investigação.

Apesar de todos estes benefícios, estão estabelecidas na literatura algumas regras de avaliação para determinar se um modelo de simulação é adequado; as regras seguintes foram descritas por Banks [13], e baseiam-se no seguinte:

1. A simulação não deve ser usada quando o problema pode ser resolvido pelo senso comum;
2. A simulação não deve ser utilizada caso o problema possa ser resolvido analiticamente;
3. A simulação não deve ser aplicada caso seja mais simples realizar testes diretos no sistema;
4. Não se deve recorrer à simulação se os custos excederem as economias;
5. A simulação não deve ser realizada se os recursos ou tempo não estão disponíveis;
6. Se não há tempo suficiente, ou se o pessoal não estiver disponível para verificar e validar o modelo, a simulação não é apropriada;
7. Se os gestores têm expectativas irracionais, se esperam muito em pouco tempo, ou se o poder de simulação for superestimado, a simulação pode não ser apropriada;
8. Se o comportamento do sistema é demasiado complexo ou não pode ser definido, também aqui a simulação não é apropriada.

5.1.1. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA SIMULAÇÃO

Qualquer simulação é intuitivamente atraente uma vez que imita o que acontece com um sistema real, ou com um sistema que se encontra em fase de conceção.

As principais vantagens da simulação são o facto de um sistema real poder ser explorado sem que seja necessária a interrupção das operações em curso do sistema real. Existe a possibilidade da implementação de novos *layouts* físicos, novos sistemas de transporte, e outros mais, que podem ser testados sem comprometer recursos para a sua aquisição.

Possibilita comprimir ou expandir o tempo de simulação de modo a que seja possível estudar todos os fenómenos com elevado detalhe, ou seja, é possível examinar o impacto de uma alteração no sistema em minutos, evitando ficar horas a observar as operações que ocorrem em breves minutos de atividade simulada. Assim sendo, um estudo de simulação pode ajudar na compreensão de como o sistema funciona, em vez de como as pessoas acham que o sistema opera, permitindo que sejam esclarecidas muitas perguntas relativas ao sistema, sendo que isto é particularmente útil na conceção de novos sistemas.

A simulação permite ainda diagnosticar com maior facilidade problemas, o que leva ao aumento de compreensão destes e os efeitos que determinados fatores possuem no sistema real.

Em alguns *softwares* de simulação é possível observar as operações a partir de vários ângulos e níveis de ampliação, tornando mais simples a identificação de falhas que o sistema real tenha e que por vezes são difíceis de descobrir no sistema real [13, 14].

Contudo, a simulação não tem apenas vantagens, e também aqui são encontradas algumas desvantagens.

A simulação tem como principais desvantagens o facto de a construção de modelos requerer um treino especial, dado que se trata de uma “arte” que se aprende ao longo do tempo e com a experiência. Além disso, se dois modelos são construídos por diferentes pessoas, apesar de terem semelhanças, é pouco provável que sejam iguais. Outro aspeto negativo é o facto de os resultados da simulação, eventualmente, serem difíceis de interpretar, uma vez que se tratam de variáveis aleatórias, podendo ser por isso difícil de distinguir o resultado da observação. Além de que, a modelação e análise da simulação pode ser demorada e cara. Contudo, estas desvantagens podem ser contornadas, ou pelo menos minimizadas, dado que os fornecedores de *software* de simulação foram desenvolvendo ativamente pacotes que contêm modelos que só precisam de dados de entrada para o seu funcionamento, tornando mais simples trabalhar com o *software*. Deste modo, cada vez mais a simulação passa a ser um processo mais rápido de realizar, dado o avanço da tecnologia, permitindo assim uma rápida execução de cenários.

Uma vez que um modelo de simulação é baseado na experimentação, uma desvantagem apontada é o facto de não se tratar de um sistema real da máquina que se replica, o que pode

representar uma situação em que o utilizador e outras pessoas não levam a sério a partir de uma perspetiva de engenharia. Também pode ser difícil a leitura dos resultados de um teste de modelo de simulação.

Em suma, apesar das diversas desvantagens, a simulação continua a ser uma mais-valia para a indústria, quer para processos de melhoramento, assim como para previsão de conceções de possíveis processos.

5.2. MODELAGEM DE SISTEMAS

A modelagem de sistemas é o processo de desenvolvimento de modelos de um sistema, de maneira a que cada modelo apresente uma visão ou perspetiva diferente do sistema. Atualmente a modelagem de sistemas tornou a representação de um sistema recorrendo a algum tipo de notação gráfica, que hoje em dia são baseadas quase sempre em notações em *Unified Modeling Language* (UML). A modelagem de sistemas ajuda o analista a entender as suas funcionalidades, sendo os modelos usados para descrever essa mesma funcionalidade [15].

Os modelos de sistemas já existentes são utilizados durante o processo de identificação, análise, especificação, documentação e validação de forma a ajudar a esclarecer o que o sistema existente faz, podendo ser usados como base para discussão dos seus pontos fortes e fracos, podendo levar a requisitos para um novo sistema. Um sistema pode ser definido como um agrupamento de estruturas e recursos que interagem segundo uma lógica, de modo a alcançar um ou mais objetivos. No caso de uma fábrica, as estruturas referem-se às edificações e equipamentos, sendo que os recursos dizem respeito ao capital, matéria-prima, mão-de-obra, energia e água; já os objetivos poderão ser o fabrico de um ou mais tipos de produtos. Assim sendo, dependendo da área de conhecimento, tem-se uma variedade de sistemas reais. Os estudos destes sistemas podem realizar-se sob diferentes formas de abordagem. A primeira seria interferindo diretamente sob rotinas operacionais, promovendo implementações e, ou, alterações de procedimentos até que sejam obtidas as condições ideais. Estas ações requerem do tomador de decisão a realização de estudos preliminares e experiências, para que as alterações não minorem a rotina funcional de um dado sistema.

Na Figura 43 é apresentado um esquema simplificado que representa o processo de modelagem.

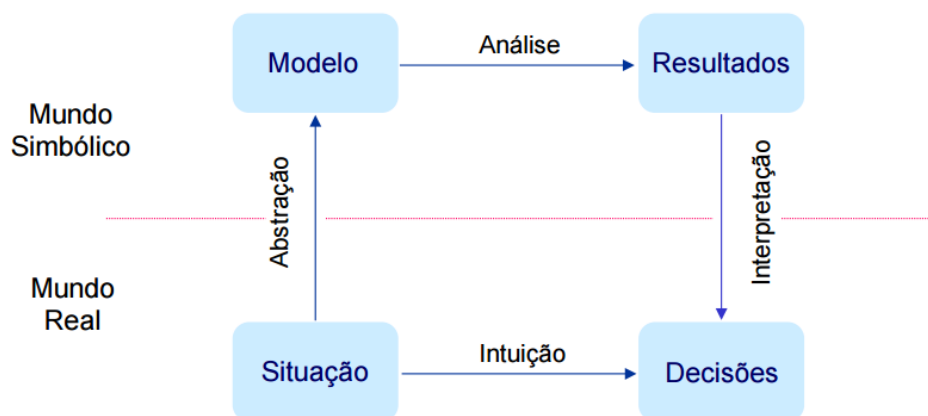


Figura 43 Processo de modelagem [16]

Relativamente às perspectivas, podem-se considerar vários tipos de perspectivas. Quando se trata de uma perspectiva externa modela-se o contexto ou ambiente do sistema; quando de uma perspectiva de interação, modelam-se as interações entre um sistema e o ambiente ou entre os componentes de um sistema. Tendo em conta uma perspectiva estrutural, será modelada a organização de um sistema ou a estrutura dos dados processados pelo sistema. Considerando uma perspectiva comportamental modela-se o comportamento dinâmico e como este responde a eventos [15].

Um modelo é por vezes uma visão abstrata de um sistema que ignora alguns detalhes deste, sendo que os modelos de sistemas complementares podem ser desenvolvidos para mostrar contexto, interações, estrutura e comportamento do sistema. Os modelos de contexto mostram como um sistema que está em fase de modelação se encontra posicionado num ambiente com outros sistemas e processos.

A modelagem pode ser dedutiva, presumindo-se que o modelo pode desenvolver-se inicialmente focando-se nas variáveis, relacionando-as no modelo com expressões matemáticas, valorizando o conhecimento prévio do modelador em relação aos dados e às suas aplicabilidades. Na modelagem inferencial presume-se que os dados refletem a realidade, relacionando as variáveis para estimar os valores e, deste modo, valorizam-se os dados exatos.

Na modelagem de sistemas é geralmente útil examinar as classes de um sistema para verificar-se se há propósito para generalização. No caso de propostas para mudanças, não é

necessário examinar todas as classes no sistema para se verificar se são afetadas pela mudança.

Em suma, os modelos comportamentais são utilizados para descrever o comportamento dinâmico de um sistema em execução. Esse comportamento pode ser modelado a partir da perspectiva dos dados processados pelo sistema, ou pelos eventos que estimulam respostas de um sistema.

A engenharia dirigida a modelos é uma abordagem do desenvolvimento de *software*, na qual um sistema é representado como um conjunto de modelos que podem ser automaticamente transformados em códigos executáveis [15, 16].

5.3. TIPOS DE MODELOS DE SIMULAÇÃO

Geralmente, os sistemas reais tendem a apresentar uma maior complexidade devido, principalmente, à sua natureza dinâmica e aleatória, tratando-se de uma característica da componente humana dos sistemas. O modelo de simulação consegue representar com fidelidade essas características, procurando repetir num computador o mesmo comportamento que o sistema apresentaria quando submetido às mesmas condições.

Os modelos matemáticos de simulação, ou simplesmente modelos de simulação, podem ser classificados em estáticos ou dinâmicos. Dizem-se estáticos os que visam representar o estado de um sistema num determinado instante ou que nas suas conceções não se tem em conta a variável tempo (trata-se de um sistema de equações algébricas). Os dinâmicos são formulados para representarem as alterações de estado, neste caso, as variáveis variam no tempo, tratando-se de um sistema de equações diferenciais ou de diferenças [17]. Uma forma importante de interpretar o comportamento de processos tem sido através de equações diferenciais.

Um modelo matemático pode também tratar-se de um modelo linear ou não linear, sendo linear caso a(s) saída(s) dependa(m) linearmente da(s) entrada(s) e possíveis perturbações; verificando-se o contrário, trata-se de um modelo não-linear. Equações ou modelos são lineares se as variáveis dependentes ou as suas derivadas aparecem apenas no primeiro grau [17, 18].

Os modelos dinâmicos não-lineares fazem com que a resposta a qualquer variável de entrada seja afetada pelo comportamento das outras entradas e saídas, simultaneamente. Num sistema linear as relações entrada/saída podem ser identificadas uma por vez, considerando-se somente uma das variáveis de entrada como fonte de variações na saída.

Outros modelos possíveis de simulação são o determinístico ou estocástico. Um modelo determinístico é aquele cuja concepção não recorre ao uso de variáveis aleatórias; por outro lado, um modelo estocástico é um modelo que pode empregar uma ou mais variáveis aleatórias.

Além destes modelos apresentados, ainda existem os modelos discretos ou contínuos. Os discretos são aqueles em que o avanço da contagem de tempo na simulação é dada sob a forma de incrementos, cujos valores podem ser definidos em função da ocorrência dos eventos ou pela determinação de um valor fixo. Para os modelos contínuos, o avanço da contagem de tempo na simulação dá-se de forma contínua (ou com um intervalo de tempo muito pequeno), possibilitando determinar os valores das variáveis de estado a qualquer instante [19].

5.4. METODOLOGIA DA SIMULAÇÃO DE PROCESSOS

De modo a ser possível realizar um projeto de simulação de processos, e para que o estudo de simulação seja bem-sucedido, é necessário que um conjunto de etapas sejam seguidas. Essas etapas, fases ou processos são conhecidos na literatura como “metodologias de simulação” ou “ciclos de vida de um modelo de simulação” [18].

O processo de concepção de uma simulação baseada em possibilidades inicia-se com uma análise detalhada ao processo que se pretende simular/melhorar, definindo os requisitos, indicadores de desempenho e exceções que vão possibilitar a construção do modelo de simulação.

Feita uma análise detalhada ao processo, dão-se início às várias etapas do processo de simulação até à concepção e processamento de simulações. No fim de cada iteração é avaliado o resultado da execução da simulação – caso haja erros, ou caso seja detetado que os resultados não traduzem de forma correta os dados de entrada, o modelo de simulação pode ser alterado. Desta forma, a simulação continua até que seja encontrada uma solução

satisfatória para o processo, por isso, o número de iterações não é fixo e depende em grande medida da complexidade do processo.

A simulação de processos é genericamente constituída por cinco fases [18]:

1. Fase de aquisição de conhecimentos e análise;
2. Fase de modelação;
3. Fase de execução;
4. Fase de análise do sistema;
5. Fase de desenvolvimento e reformulação.

Na primeira fase, é apreendida toda a informação relativa ao sistema relevante para a simulação de processos. O analista de simulação deve procurar entender o sistema que irá ser simulado e os seus objetivos, levando ao conhecimento dos processos e à descoberta de possíveis situações de exceção de modo a que os dados existentes sejam corretamente explorados e preparados. Durante esta fase, além da definição do âmbito do modelo, as hipóteses e o nível de detalhe, deve também ser incluído um estudo das características do projeto e do comportamento espectável dos processos.

Na fase 2, os cenários de simulação definidos na primeira fase são transpostos para um modelo de simulação que possa ser executado num simulador. De forma a que as possibilidades da simulação sejam coerentes, é importante identificar e modelar as correlações e sequências. No fim desta fase, os cenários da simulação são representados como simulações executáveis que organizam todas as operações necessárias de modo a gerar sequências representativas de possibilidades e descrever como publicar estas possibilidades a serem processadas pelo sistema.

A terceira fase inicia a maioria dos dados de acordo com o modelo de simulação gerado durante a fase de modelação. O simulador executa uma iteração da simulação gerando todas as possibilidades das sequências definidas. Assim que todas as possibilidades da simulação sejam processadas pelo sistema, esta fase termina.

Aquando da fase 4 são avaliados o desempenho e comportamento do sistema analisando os passos do processamento, as decisões automatizadas, calculando as métricas de desempenho

e verificando a integridade dos dados de entrada. A análise realizada durante esta fase serve de base para a última fase, que consiste em adaptar ou melhorar o modelo de simulação.

5.5. VERIFICAÇÃO, VALIDAÇÃO E CONFIABILIDADE DE MODELOS

Uma das tarefas mais árduas na simulação reside na determinação do modelo proposto de forma a retratar com fidedignidade o sistema em estudo. Para se conseguir obter um bom resultado no estudo elaborado é necessário considerar três aspetos simbólicos: a verificação, a validação e a implementação de confiabilidade, sendo que estes devem ser considerados ao longo das várias fases de desenvolvimento de um modelo.

Relativamente à verificação, é necessário um determinado conjunto de ações para certificar-se que a forma conceitual adotada na conceção do modelo foi transcrita corretamente na utilização da simulação. É também recomendada a utilização de duas ou mais pessoas, estruturando o programa para um conjunto variado de situações e procedendo à análise dos dados de saída, sendo necessário verificar a execução dos procedimentos, observar a animação e comparar valores gerados pelo uso de distribuições dos observados em sistemas reais.

Em termos de validação, necessita-se de um conjunto de ações para analisar se um determinado modelo representa com fidedignidade o sistema em estudo. Este procedimento poderá ser conduzido em conjunto com a verificação, o que trará maior confiabilidade ao modelo. A validação pode ser categorizada em estatística e subjetiva. Sendo a estatística empregadora de ferramentas como, por exemplo, a análise de variância, determinação de intervalo de confiança, testes de hipótese, ajustamento de curvas, análises de regressão e análises de séries temporais. Por outro lado, a subjetiva é recomendada quando não há possibilidade de proceder a explorações aprofundadas sobre o sistema em estudo.

Por fim, na implementação de confiabilidade, para a obtenção de modelos validados e confiáveis deve-se ter em conta os seguintes passos: devem-se desenvolver modelos interativos com os potenciais utilizadores, devendo-se constatar os termos técnicos usuais, reunir e utilizar os dados relevantes a serem utilizados no desenvolvimento do modelo, recorrer a teorias existentes relativas ao sistema em estudo, analisar outros modelos desenvolvidos anteriormente e adotar experiência e intuição na conceção do modelo.

Outro aspecto a ter em conta é testar as considerações empíricas utilizadas. Uma das ferramentas mais poderosas para a realização deste passo é a realização de análises de sensibilidade. Deste modo, certifica-se como os resultados da simulação são afetados mediante alterações dos valores das variáveis de entrada e parâmetros do sistema.

Por fim, deve-se determinar o quanto os dados gerados são representativos, tratando-se de um dos procedimentos decisivos na validação, o qual consiste na confrontação das informações geradas pelo modelo com as obtidas do sistema real, sendo que o nível de precisão irá depender dos propósitos de utilização do modelo [20, 21].

5.6. DELMIA QUEST

O *software* Delmia QUEST foi o utilizado, uma vez que é o disponibilizado pelo ISEP. Trata-se de um simulador digital indicado para ambientes fabris, para simulação e análise de fluxo de processos (na Figura 44 apresenta-se uma imagem da sua interface principal). Este *software* possui um ambiente de simulação de eventos discretos flexível e orientado ao objeto, tornando-se uma boa solução para simulação e análise de fluxos de processos na engenharia.

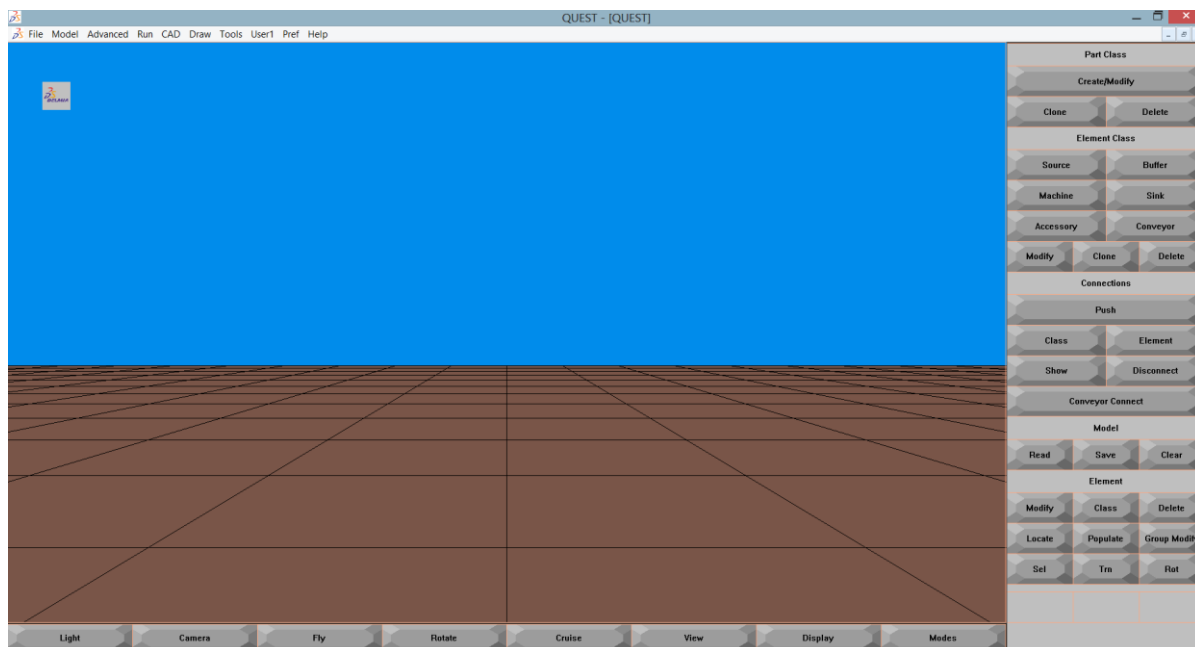


Figura 44 Ambiente gráfico do simulador QUEST

Oferece ferramentas poderosas de modelação para construir uma fábrica digital completa, onde permite que sejam importados desenhos CAD e possibilita ao engenheiro de processo

analisar o desempenho e documentar os resultados, para que seja possível a observação e avaliação da solução otimizada.

O QUEST oferece um ambiente colaborativo para desenvolver e fornecer as melhores práticas de concepção de projetos virtuais. Esta interface possibilita ao utilizador projetar a disposição dos elementos que constituem o seu projeto e ainda possibilita a definição de ciclos de processo, horários de “pessoal”, especificações das máquinas, entre outras variáveis.

Este simulador incorpora variáveis reais de produção dentro do *layout* desenhado, essas variáveis dizem respeito ao tempo de processos do projeto simulado, às velocidades de movimento das operações dos “trabalhadores” simulados, entre outros. Este tipo de variáveis ajuda o utilizador a perceber melhor os resultados da simulação tal como os efeitos que ocorrem ao longo da mesma.

Os dados da simulação podem ser apresentados em vários gráficos e tabelas, podendo ainda ser extraídos a partir do modelo concebido e exportados para ferramentas de análise, como por exemplo, Microsoft Excel.

Com a correta aplicação do QUEST, os utilizadores podem visualizar e evitar possíveis problemas existentes e ainda melhorar processos [22].

6. MODELAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DA LINHA

Este capítulo incide na análise dos equipamentos existentes, e na modelação individual dos mesmos recorrendo ao software Delmia QUEST.

Será feita uma apresentação dos modelos da linha de engarrafamento, tal como a validação dos mesmos.

6.1. ANÁLISE DOS EQUIPAMENTOS

O *software* utilizado para se proceder à simulação da linha de engarrafamento foi o Delmia QUEST, como anteriormente foi referido.

Com este simulador é possível obter informações importantes e relevantes acerca do que se passa na realidade. Com este *software* é pretendido perceber onde se consegue melhorar a linha já implementada, de forma a obter melhores resultados de produção. É importante salientar que esta ferramenta possibilita perceber em tempo útil os problemas da linha sem que estes se consigam perceber no espaço físico da linha.

Para dar início à elaboração do *layout* a ser simulado, foi necessário recorrer à planta da linha já montada. Feita uma análise detalhada da mesma, percebeu-se a necessidade da implementação de diversos equipamentos com as suas diversas funcionalidades.

Uma vez escolhido o método das cronometragens, passou-se ao estudo dos tempos da linha. Com a ajuda de um cronómetro foram levantados todos os tempos que cada processo demora a ser executado, em cada uma das máquinas da linha de produção. Estes resultados encontram-se no Anexo A. Foram registados 12 ciclos de estudo, cada um com 6 medidas diferentes. Foi efetuada a média e o respetivo desvio-padrão, para mais tarde se utilizar na simulação, uma vez que é necessário a introdução dos ciclos de funcionamento de cada máquina.

Os valores foram recolhidos (em situações ditas ideais) quando todas as máquinas estavam a funcionar sem qualquer tipo de paragem ou de encravamento, sendo que, sempre que acontecesse algum destes casos mencionados, paragens ou encravamentos, o cronómetro era parado e estes tempos de paragem não eram contabilizados, pois assim não seria possível recolher dados concretos sobre a cadência das máquinas no seu funcionamento, dito normal. Este estudo demorou algum tempo até que ficasse concluído, não só pelo motivo da linha ser extensa, mas também pelo facto de esta não engarrafar um só produto. O facto de serem vinhos diferentes leva a que os tempos dos processos ao longo da linha sejam também diferentes (por exemplo, o tempo de engarrafamento do vinho Casal Garcia Vinho Verde Branco difere do tempo de engarrafamento do vinho Casal Garcia Douro Tinto, uma vez que estes dois tipos de vinhos requerem pressões diferentes). Logo, isso irá influenciar o tempo de enchimento de cada um dos vinhos e, consequentemente, toda a linha será afetada por esses tempos. Desta forma, as máquinas trabalham a velocidades diferentes, logo as cadências serão diferentes. Posto isto, e dado que o Casal Garcia Vinho Verde Branco é o vinho que mais se engarrafa, ficou estipulado que o estudo seria realizado durante o engarrafamento apenas de vinho Casal Garcia Vinho Verde Branco, de rolha de cortiça ou de *screw cap*.

Após terem sido recolhidos todos estes tempos de ciclo de cada máquina, passou-se à implementação do *layout* no simulador Delmia QUEST. Nesta fase, uma das coisas mais importantes é conseguir aproximar o modelo o mais possível à situação real, uma vez que a simulação só é válida quando traduzir exatamente a realidade da linha implementada.

Dado tratar-se de uma linha que não engarrafa um só tipo de vinho, nem utiliza o mesmo tipo de matéria-prima, houve a necessidade de ser criado mais que um modelo. Os modelos elaborados baseiam-se no engarrafamento de vinho Casal Garcia Branco, com rolha de cortiça ou com cápsula roscada (*screw cap*), encaixotado em caixas de 6 unidades ou 12 unidades. Assim, foram criados quatro modelos no QUEST para a simulação da linha 1.

A Figura 45 retrata um dos modelos implementados, no decorrer de uma simulação. Com esta simulação é possível recolher dados relevantes como, por exemplo, a taxa de utilização de cada máquina, a taxa de produção, a taxa de rejeição, entre muitos outros dados.

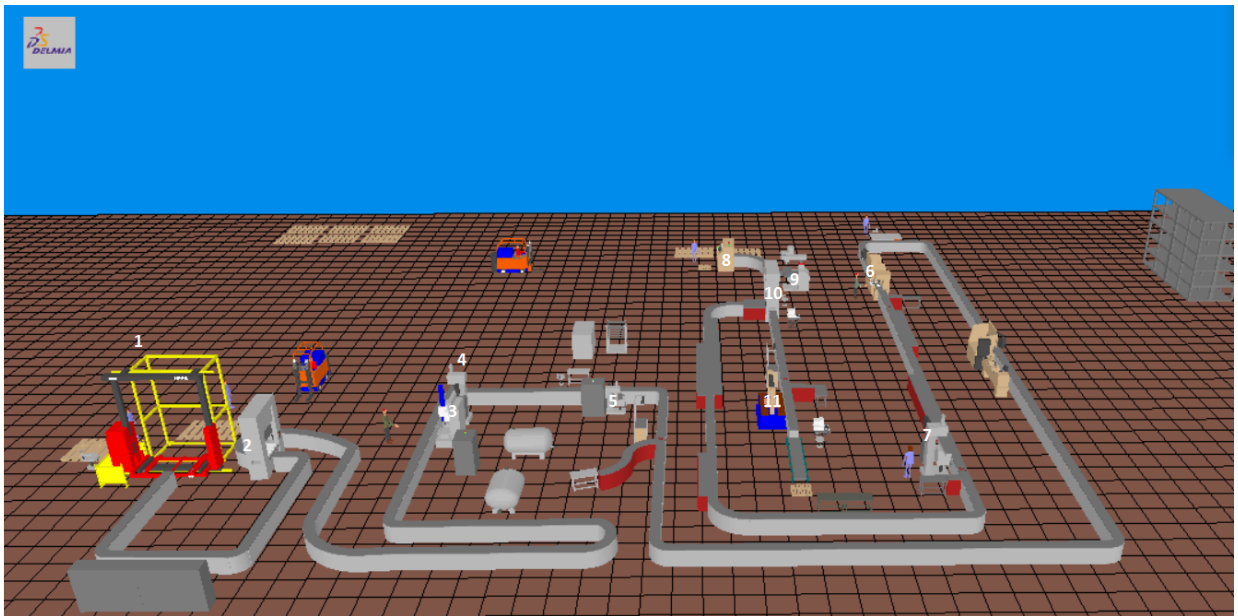


Figura 45 Modelo implementado da linha 1

Inicialmente começa-se por desenhar o *layout* pretendido para a linha 1 e posteriormente implementou-se o *layout* para a linha 2 (ver Figura 46). Dado que o QUEST disponibiliza algumas bibliotecas, torna-se mais simples a implementação pretendida.

6.1.1. DEFINIÇÃO DAS *PARTS* DOS MODELOS

Passam-se a criar as *parts*, que neste caso são as garrafas e as caixas que se pretende que sejam simuladas. Na Tabela 8 são apresentadas as *parts* existentes nos modelos.

As Figuras 47 e 48 são a representação das garrafas e das caixas, respetivamente, da linha de engarrafamento, estando a ser utilizadas caixas de 6 e 12 unidades.

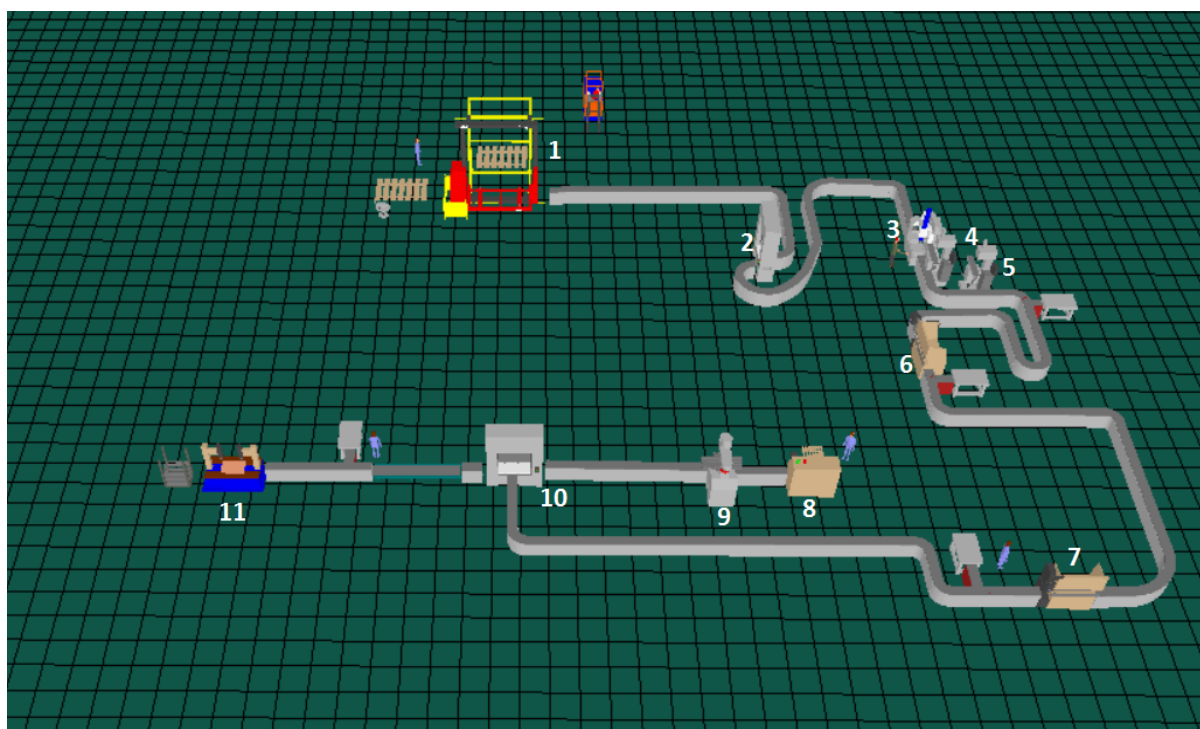


Figura 46 *Layout* implementado para a linha de engarrafamento 2

Tabela 8 *Parts* criadas

Designação	<i>Parts</i> criadas	Cor
garrafas s/ defeito	garrafas_boas	Azul claro
garrafas defeituosas no vasilhame	garrafas_def_vas	Branco
garrafas defeituosas na rolha	garrafas_def_rolha	Amarelo
garrafas defeituosas na cápsula	garrafas_def_capsula	Vermelho
garrafas defeituosas no rótulo	garrafas_def_rotulo	Verde claro
garrafas defeituosas no contrarrótulo	garrafas_def_contrarotulo	Laranja
caixas defeituosas	caixa_def	Vermelha
caixas vazias de 6 unidades	caixa_vazia_6	Branco
caixas cheias de 6 unidades	caixa6cheia	Azul claro
caixas vazias de 12 unidades	caixa_vazia_12	Pastel
caixas cheias de 12 unidades	caixa12cheia	Azul claro

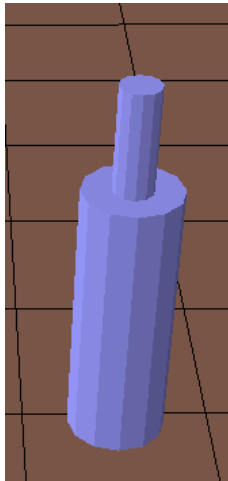


Figura 47 Garrafa simulada

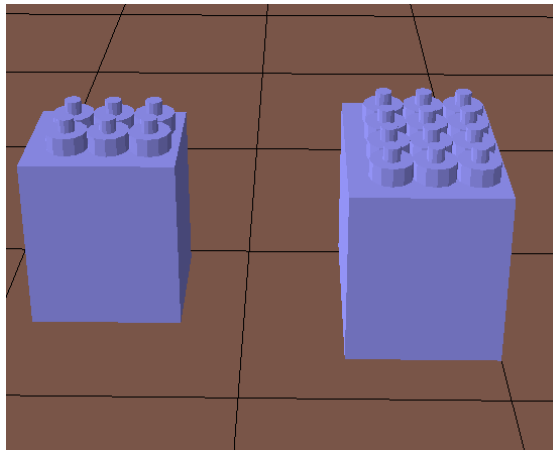


Figura 48 Caixas cheias de 6 e 12 unidades simulada, respetivamente

Estando estes parâmetros todos definidos, torna-se necessário definir os parâmetros de cada uma das máquinas, sendo eles o processo de ciclo, a lógica do processo, entre outros.

6.1.2. DEFINIÇÃO DAS MÁQUINAS DO MODELO

Assim sendo, são utilizadas as seguintes máquinas (entre parêntesis apresenta-se o número correspondente à sua localização nos modelos apresentados nas Figuras 45 e 46):

- Despaletizadora (1) responsável pela despaletização das garrafas e colocação das mesmas na linha de engarrafamento (apresenta-se na Figura 49 modelada para simulação);

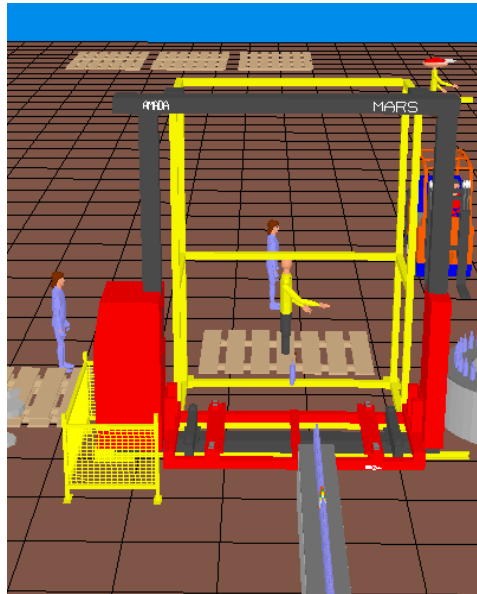


Figura 49 Despaletizadora

- Enxaguadora (2), como é possível ver na Figura 50, é responsável pela esterilização e lavagem das garrafas;

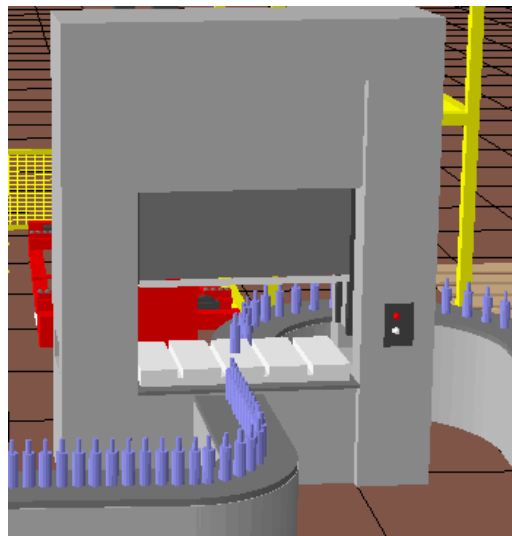


Figura 50 Enxaguadora

- Enchedora (3), responsável pelo enchimento do vinho é mostrada na Figura 51;

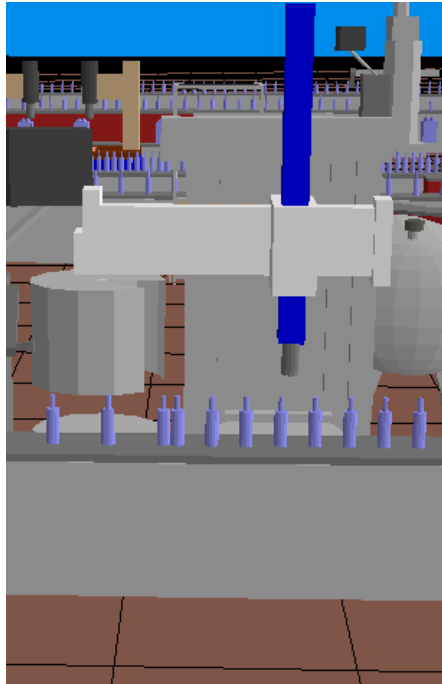


Figura 51 Enchedora

- Rolhador (4,5), responsável pelo fecho da garrafa. Este tanto pode trabalhar com rolha de cortiça como com cápsula roscada (ver Figura 52);

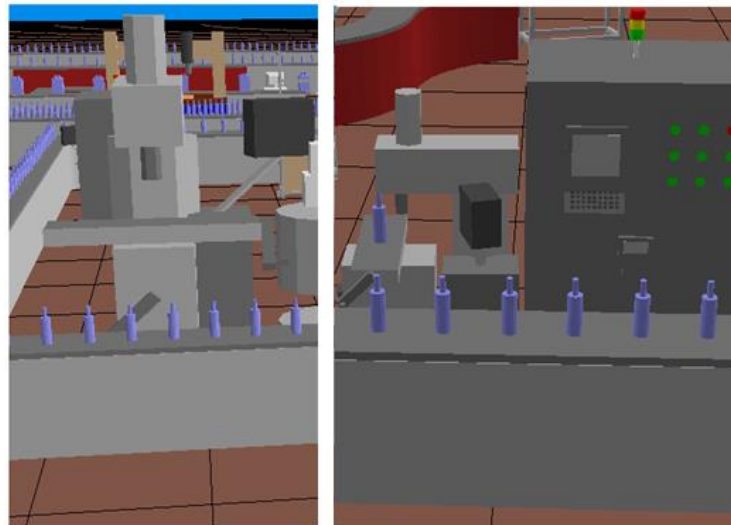


Figura 52 Rolhador de rolha de cortiça e de cápsula roscada, respetivamente

- Capsulador (6), responsável por tapar o gargalo da garrafa caso esta tenha rolha de cortiça como é possível ver na Figura 53;



Figura 53 Capsulador

- Rotuladora (7), apresentada na Figura 54, é a responsável pela colocação de rótulo e contrarrótulo;



Figura 54 Rotuladora

- Formadora de caixas (8), responsável pela formação das caixas, visível na Figura 55;

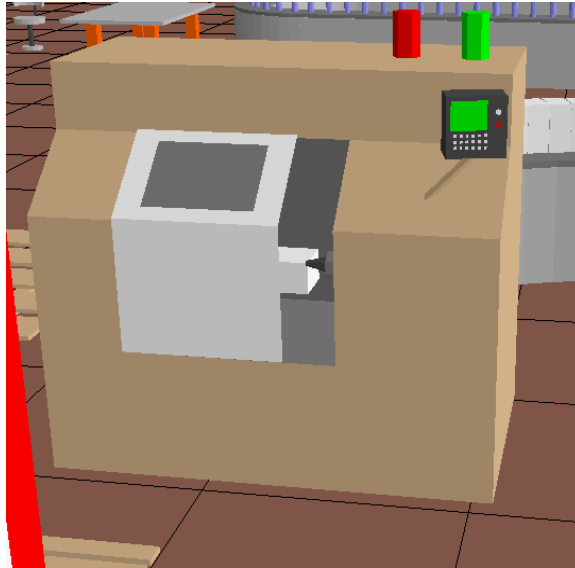


Figura 55 Máquina de formar caixas

- Encartonadora (9), responsável pelo encaixotamento das garrafas e foi modelada como se pode ver na Figura 56;

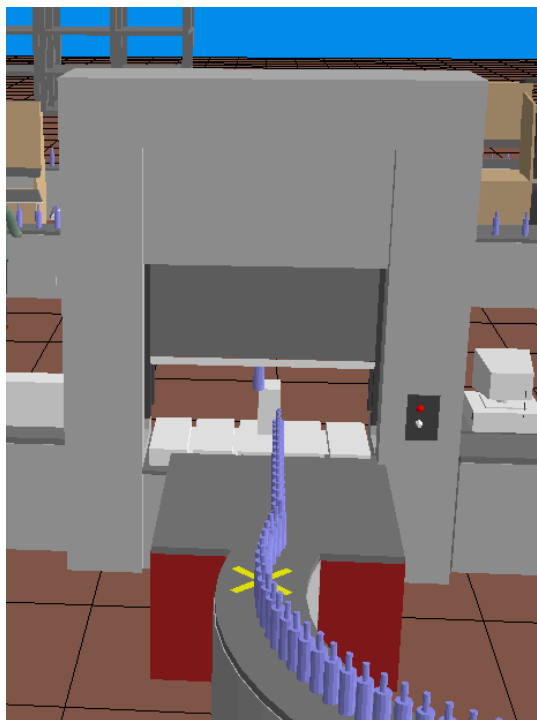


Figura 56 Encartonadora

- Fechadora de caixas (10), responsável pelo fecho das caixas, cujo modelo utilizado é apresentado na Figura 57.

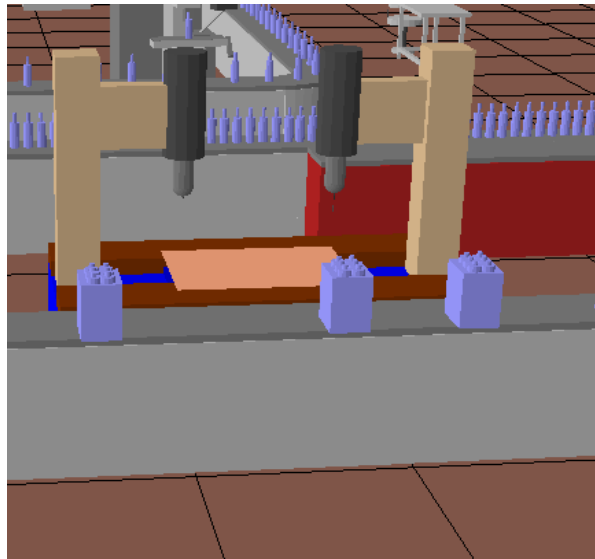


Figura 57 Máquina de fechar caixas

Todos os modelos são constituídos por estas máquinas. As diferenças entre os modelos residem no tipo de rolha que a garrafa leva (de cortiça ou cápsula roscada) e no tipo de caixa onde as garrafas são encaixotadas (6 ou 12 unidades).

Para cada uma das máquinas assinaladas na simulação, são inseridos os tempos de ciclo recolhidos e o respetivo desvio-padrão. Cada máquina dispõe de um conjunto de ciclos de processos. A título de exemplo, no caso da despaletizadora, esta dispõe de 6 ciclos de processos:

- ciclo para as garrafas que não possuem qualquer tipo de defeito;
- ciclo para as garrafas que têm defeito no vasilhame;
- ciclo para as garrafas que têm defeito na rolha;
- ciclo para as garrafas que têm defeito na cápsula;
- ciclo para as garrafas que têm defeito no rótulo;
- e, ainda, ciclo para as garrafas que têm defeito no contrarrótulo.

Cada um destes ciclos tem o mesmo tempo de ciclo, a diferença reside no tipo de garrafa criada. Estas garrafas com defeitos vão sendo eliminadas ao longo da linha, em sítios

próprios para essa mesma rejeição. Estes pontos de rejeição (ver Figuras 58 e 59), colocados ao longo da linha, servem para controle das garrafas que têm problemas detetáveis.

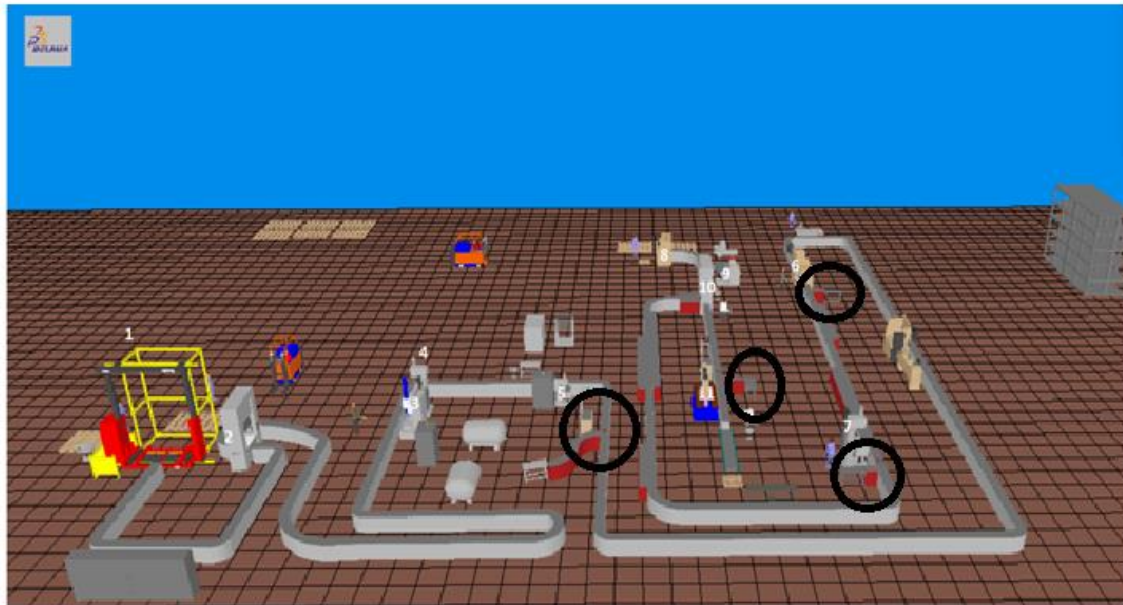


Figura 58 Pontos de rejeição assinalados no *layout* da linha 1

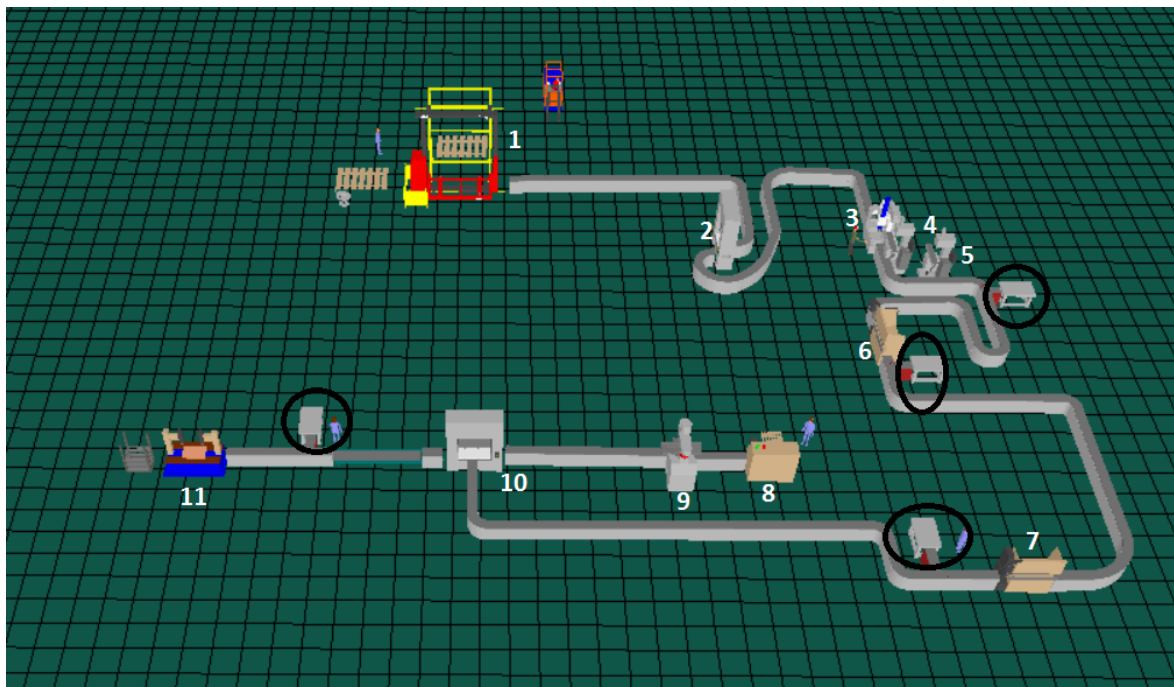


Figura 59 Pontos de rejeição assinalados no *layout* da linha 2

Foi feito um apanhado geral das taxas de rejeição, quer do que respeita às garrafas, quer do que respeita às caixas e respetivos materiais de apoio à linha de produção. De acordo com a

informação fornecida pela Aveleda relativa às perdas, verificaram-se os seguintes dados apresentados nas Tabela 9 e 10.

Tabela 9 Perdas de material referentes à linha 1

Descrição	Quant. consumida	Quant. perdida	Taxa de rejeição	Quant. útil
Vasilhame	4617885	4068	0,09%	4613817
Rolhas e Batoques	4681029	8201	0,18%	4672828
Cápsulas/Capselas	2429064	1428	0,06%	2427636
Rótulos	4625958	3710	0,08%	4622248
Contrarrótulos	4626414	3990	0,09%	4622424
Selos de origem	4626414	1581	0,03%	4624833
Embalagens	686113	2558	0,37%	683555

Tabela 10 Perdas de material referentes à linha 2

Descrição	Quant. consumida	Quant. perdida	Taxa de rejeição	Quant. útil
Vasilhame	8201430	7505	0,09%	8193925
Rolhas e Batoques	8201430	12198	0,15%	8189232
Cápsulas/Capselas	4609230	1650	0,04%	4607580
Rótulos	8141370	8243	0,10%	8133127
Contrarrótulos	8141814	5237	0,06%	8136577
Selos de origem	8141814	2769	0,03%	8139045
Embalagens	1223383	3139	0,26%	1220244

Estes dados são inseridos no Delmia QUEST, de forma a que os resultados obtidos no final se aproximem ao máximo aos valores da realidade.

6.2. MODELAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS INDIVIDUAIS NO *SOFTWARE* QUEST

De forma a modelar o sistema pretendido, é necessário modelar cada um dos equipamentos que foram mencionados acima. Cada um dos equipamentos, mediante a sua função, é modelado em *sources*, *machines*, *buffers*, *sinks* ou *conveyors*.

6.2.1. MODELAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS INDIVIDUAIS DA LINHA 1

Inicialmente foram modeladas as *source* relativas à entrada das paletes de garrafas e das caixas na linha. Para a sua modelação é necessário proceder à especificação dos parâmetros mostrados na Figura 60. É necessário escolher o nome para atribuir à *source*, o *display* (ou o seu aspeto gráfico, como se pode ver Figura 61), definir o *Inter-Arrival Time* (IAT) (tempos entre a chegada de produtos à *source*), e definir as *Part Frations*, que neste caso se encontram presentes na Tabela 8.

The 'Source' dialog box is shown with the following configuration:

- Class Name:** `palette_garrafas` (highlighted with a blue circle)
- No. of Elements:** `1`
- Max. Part Count:** `10000000`
- Start Offset:** `0.000000 sec`
- Part Creation Mode:** `Active` (dropdown)
- Output Type:** `Push` (dropdown)
- Priority:** `1`
- Save In:** `Model File` (dropdown)
- Part Initial Stock:** `IAT` (highlighted with a black circle)
- Lotsize:** (empty field)
- Part Fractions:** (highlighted with a green circle)
- Unload Process:** `Logics`
- Labor Controller:** `SR Controller`
- Display:** (highlighted with a purple circle)
- Shifts:** (empty field)
- Failures:** (empty field)
- Part Routing:** (empty field)
- User Attribute:** (empty field)
- Properties:** (empty field)

Buttons at the bottom: `OK` and `Cancel`.

Figura 60 Parâmetros necessários para modelação da *source*

Para modelar a primeira máquina da linha, a despaletizadora, foi necessário também aqui escolher o *Class Name*, e o *No. of. Processes*, neste caso seis, uma vez que cada uma das *parts* criadas irá necessitar de um processo para si.

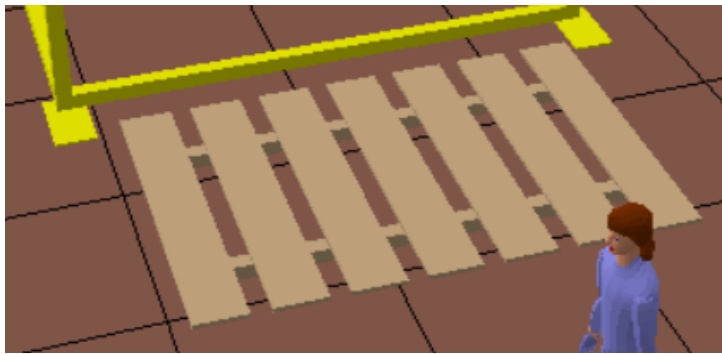


Figura 61 *Display* utilizado para representação da *source* paleta de garrafas e operador de linha

Relativamente ao parâmetro *Logics*, neste caso o *Process Logic* utilizado foi *First Possible Process*, uma vez que não se sabe qual a primeira *part* a ser criada. Na Figura 62 é possível visualizar os parâmetros com necessidade de serem especificados.

Machine	
Class Name	Despaletizadora
No. of Elements	1
Input Type	Push
Output Type	Push
No. of Processes	5
Priority	1
Save In	Model File
Part Initial Stock	Cycle Process
Process Percentage	Setup Process
Process Groups	Unload Process
Logics	Labor Controller
SR Controller	Display
Shifts	Failures
Part Routing	Request Routing
User Attribute	
Properties	
OK Cancel	

Figura 62 Parâmetros necessário para modelação das *machines*

Para modelar corretamente a despaletização das garrafas foi necessário calcular o *Cycle Process* da despaletizadora apenas para uma garrafa, pois aquando da recolha dos valores dos tempos de ciclo a quantidade de garrafas foi de 328, dado que é essa a quantidade colocada de uma só vez no transportador. Assim sendo, o valor correspondente à despaletização de uma garrafa passa a ser de 0,1444 segundos, com 0,0142 de desvio-padrão.

Para as restantes *machines* efetua-se exatamente o mesmo processo, considerando os valores específicos para cada uma das situações. Na Tabela 11 é possível ver os valores que são necessários para a modelação de cada uma das *machines*.

Tabela 11 Valores utilizados para a modelação das *machines* da linha 1

<i>Machine</i>	<i>Cycle Process</i>		<i>No. of Processes</i>
	<i>Mean (sec)</i>	<i>Std. Dev.</i>	
Despaletizadora	0,1444	0,0142	6
Lavadora	0,2884	0,0042	6
Enchedora	0,3196	0,0038	6
Rolhador	0,3020	0,0085	6
Rolhador - screw cap	0,3038	0,0102	5
Capsulador_parte1	0,2625	0,0149	4
Capsulador_parte2	0,3000	0,0172	4
Capsulador_parte3	0,2783	0,0173	4
Rotuladora	0,2800	0,0064	3
Encartonadora 6 unidades	0,3008	0,0021	2
Encartonadora 12 unidades	0,3196	0,0028	2
Máq. Formar caixas 6 unidades	1,9450	0,0568	2
Máq. Formar caixas 12 unidades	3,9050	0,0661	2
Máq. Divisórias	4,7400	0,1390	1
Máq. Fechar caixas	1,9374	0,0527	1

É importante referir que o *No. of Processes* vai diminuindo ao longo das *machines*, uma vez que as *parts* que apresentam defeitos vão sendo retiradas da linha, nos locais onde existem os *Decision Point*, como será explicado seguidamente.

Após o termino da modelação das *machines*, passou-se a modelar os pontos de decisão (*Decision Point*) de forma a retirar da linha as garrafas com defeitos. Para modelar os *Decision Point* foi necessário, como mostra a Figura 63, ser escolhida a opção *Unload Fixed*

em *Logics* de forma que as *parts* que se desejam rejeitar sejam descarregadas nesses *Decision Point*. Dado a implementação dos *Decision Point*, é necessária também a implementação de *Buffers* ligados a cada um dos *Decision Point*, para que as garrafas ali fiquem acumuladas. Assim sendo, foram modelados *Buffers* de acordo com os parâmetros que são necessários: o *Name*, o *No. of Elements* e o respectivo *Display* pretendido (ver Figuras 64 e 65).

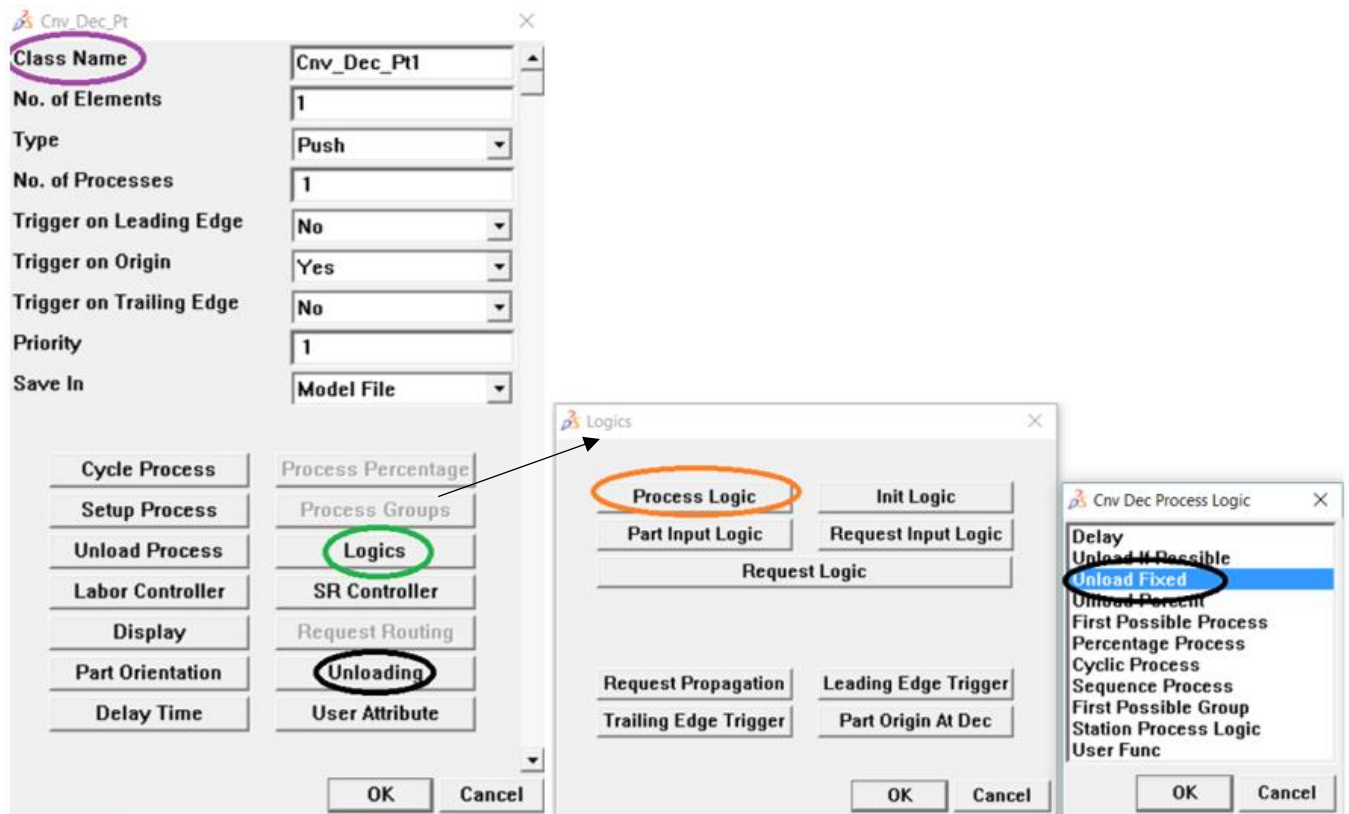


Figura 63 Parâmetros a serem modelados para a criação dos *Decision Point*

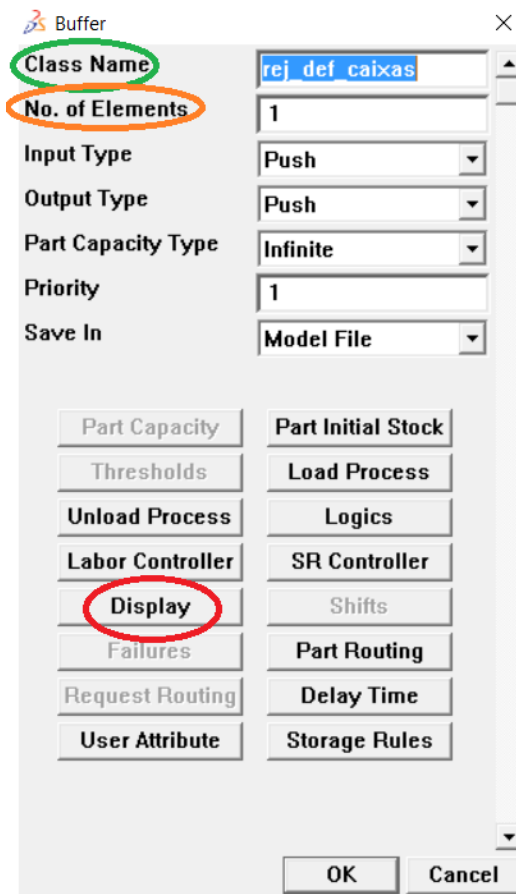


Figura 64 Parâmetros a serem modelados para a criação do modelo dos *Buffer*

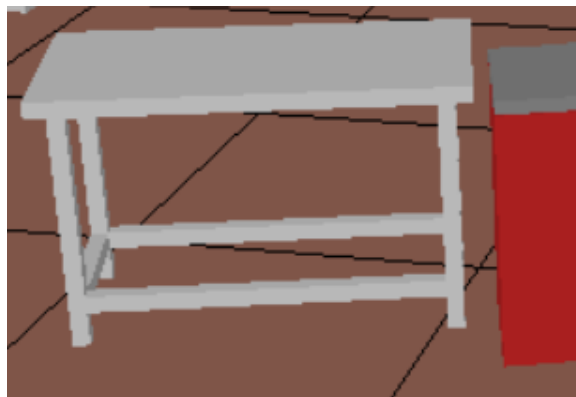


Figura 65 *Display* utilizado para a modelação do *Buffer*

No final da linha é modelado uma *Sink* para “eliminar” todas as caixas cheias que saem da linha de produção. Para a modelação desta *Sink* são necessários modelar os parâmetros assinalados na Figura 66, sendo o *display* utilizado para a modelação da *Sink* o apresentado na Figura 67.

Sink

Class Name: Armazenamento_caixas

No. of Elements: 1

Input Type: Push

Max. Request Count: 10000000

Start Offset: 0.000000 sec

Priority: 1

Save In: Model File

IRT

Request Part Fractions

Logics

SR Controller

Shifts

Request Routing

Request Lotsize

Load Process

Labor Controller

Display

Failures

User Attribute

Properties

OK Cancel

Figura 66 Parâmetros a serem modelados para a criação do modelo da Sink

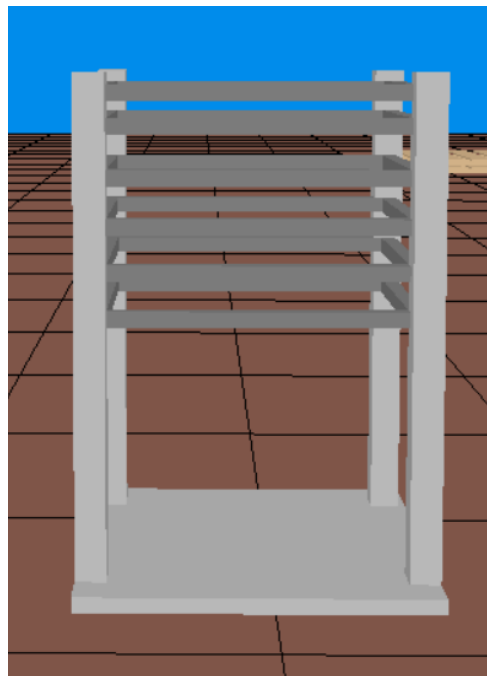


Figura 67 Display utilizado para modelação da Sink

Outro equipamento importante a ser modelado são os transportadores (*Conveyors*). Estes são responsáveis pelo transporte das garrafas, e das caixas, ao longo de toda a linha de engarrafamento. Para a modelação destes desenha-se o *Conveyor* e posteriormente alteram-se os parâmetros indicados na Figura 68.

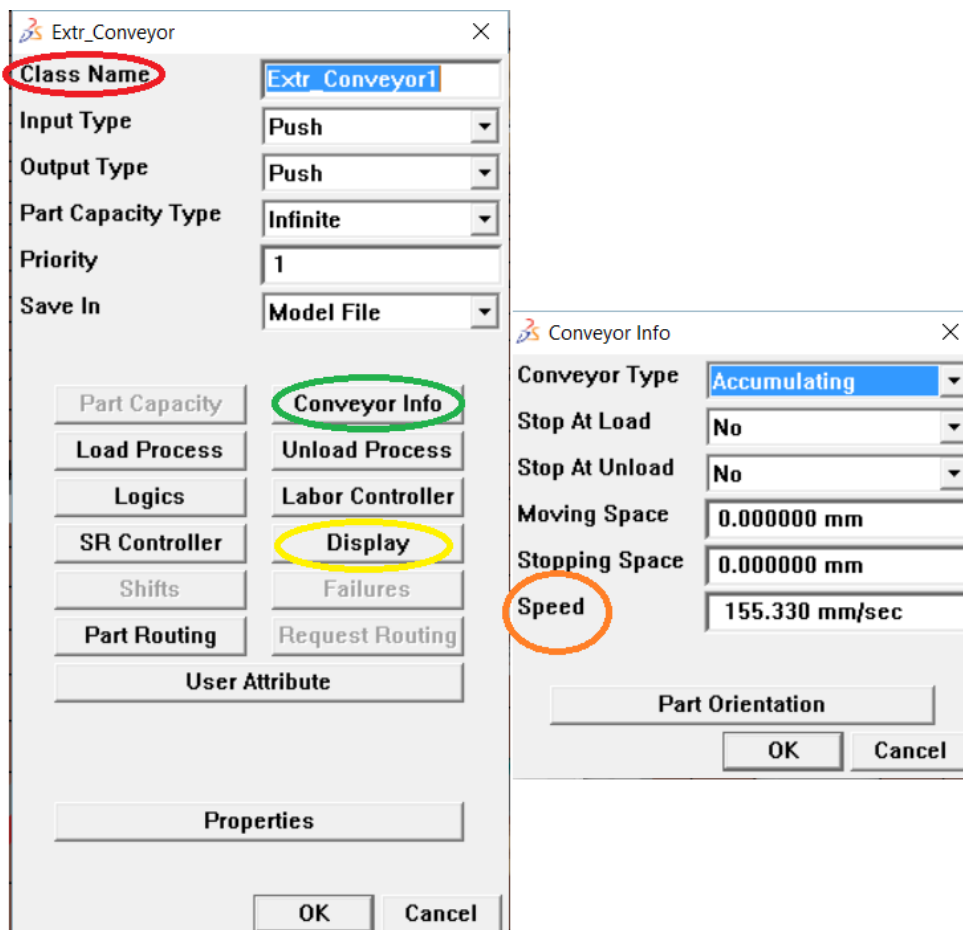


Figura 68 Parâmetros a serem modelados para a criação do modelo dos *Conveyors*

Para cada *Conveyor* modelado é necessária a sua parametrização, pois cada um tem o seu comprimento, bem como a sua velocidade (as velocidades dos transportadores encontram-se anexadas, nos Anexo D e E), neste caso parametrizada em *Speed*. O display utilizado é apresentado na Figura 69.

Após todas estas modelações é necessário proceder à conexão de todos os elementos presentes na linha. Começa-se por fazer a ligação dos elementos no sentido do funcionamento da linha de engarrafamento, desde o início da linha até ao fim. Desta forma, após ser escolhida a opção de conexão de elementos, escolhe-se o primeiro elemento da linha, seleccionando-o, e logo de seguida seleccionando o elemento a que este primeiro se pretende ligar, e assim consecutivamente, como é possível verificar na Figura 70.

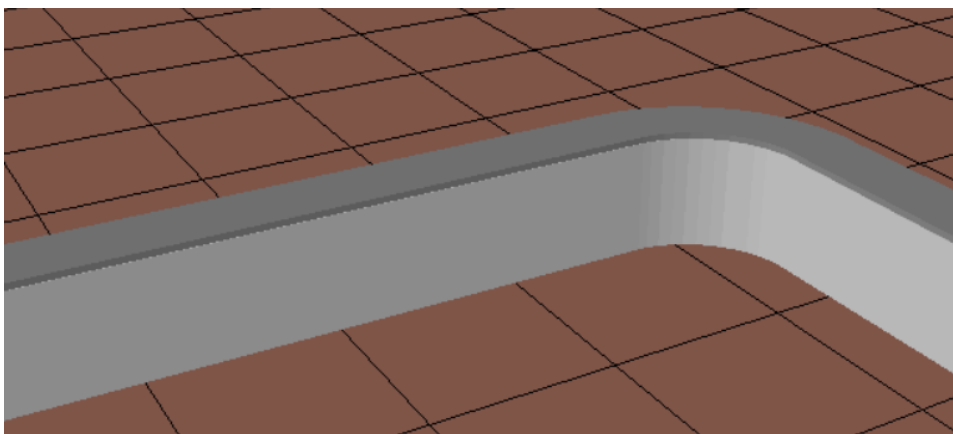


Figura 69 *Display* utilizado para representação dos *Conveyors*

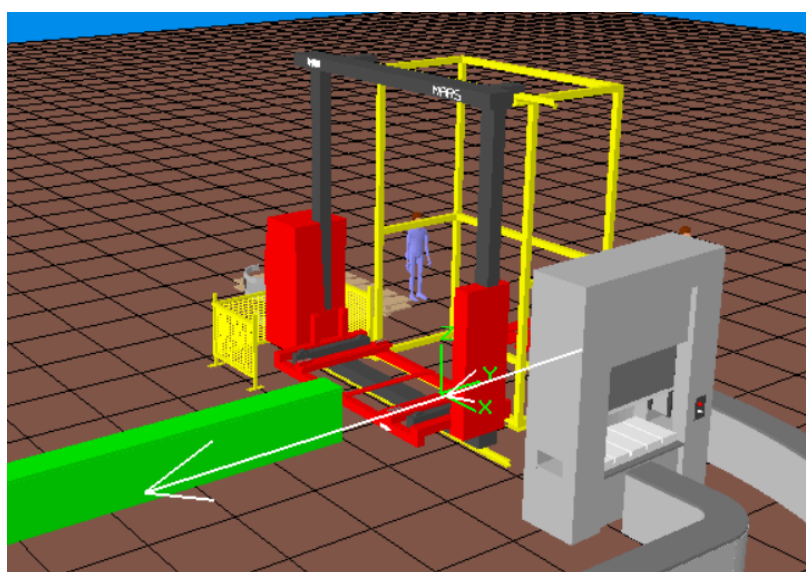


Figura 70 Conexão entre os elementos a serem simulados

Todos os elementos, sem exceção, têm que ser conectados de forma a que as *parts* que por eles vão passar a seguir, tenham o seu “caminho” definido para avançarem ao longo da linha.

Após a conclusão das conexões, guarda-se o modelo e coloca-se o mesmo em modo *Run*, de modo a simular o modelo.

6.2.2. MODELAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS INDIVIDUAIS DA LINHA 2

Após conclusão da modelagem da linha 1 (e depois de validados os modelos), passou-se para a modelação da linha 2. Esta linha também é constituída pelas máquinas de despaletização, lavagem, enchimento, rolhagem, capsulagem, rotulagem, formação de caixas, formação de divisórias, encaixotamento de caixas e fecho das mesmas. A linha 2 produz em muito menos

quantidade que a linha anteriormente estudada, apesar da diversificada quantidade de vinho que engarrafa. A linha 2 engarrafa cerca de seis mil garrafas por hora, o que é significativamente muito menos do que a linha 1.

O princípio de modelação da linha 2 é exatamente igual ao princípio de modelação da linha 1. Ambos os modelos têm a mesma base, mas cada uma das máquinas modeladas, apesar de ter a mesma base de funcionamento, apresenta tempos de ciclo diferentes. A título de exemplo, as *machines* da linha 2 são todas elas mais lentas na realização das suas tarefas.

A Tabela 12 apresenta os dados necessários à modelação das máquinas implementadas na linha de engarrafamento 2.

Tabela 12 Valores utilizados para a modelação das *machines* da linha 2

<i>Machine</i>	<i>Cycle Process</i>		<i>No. of Processes</i>
	<i>Mean (sec)</i>	<i>Std. Dev.</i>	
Despaletizadora	0,331	0,010	6
Lavadora	0,520	0,026	6
Enchedora	0,562	0,006	6
Rolhador	0,526	0,005	6
Rolhador -screw cap	0,565	0,023	5
Capsulador	0,560	0,019	4
Rotuladora	0,495	0,018	3
Encartonadora 6 unidades	0,570	0,004	2
Encartonadora 12 unidades	0,570	0,004	2
Máq. Formar caixas 6 unidades	2,270	0,044	2
Máq. Formar caixas 12 unidades	4,540	0,088	2
Máq. Divisórias	3,350	0,040	1
Máq. Fechar caixas	2,578	0,053	1

6.3. MODELOS DAS LINHAS DE ENGARRAFAMENTO

Como referido anteriormente, os vários modelos desenvolvidos são semelhantes entre si, sendo que diferem no que respeita às rolhas e às caixas: aqui tem-se rolha de cortiça ou cápsula roscada e caixas de 6 ou 12 unidades.

Os modelos que representam a simulação de garrafas de cápsula roscada dispõem a *machine* designada por capsulador e utilizam a *machine* designada por *screwcap*, enquanto que a simulação de garrafas de rolha de cortiça dispensa a *machine screwcap* e recorre à *machine* denominada por rolhador. Ainda nas diferenças dos modelos, os que simulam caixas de 6 unidades não utilizam a *machine* designada por divisórias; por outro lado, as caixas de 12 unidades necessitam dessa *machine*, dado que as caixas de 12 unidades necessitem de levar divisórias e as caixas de 6 unidades não. Outra diferença que existe na linha é o facto de que as garrafas de rolha de cortiça, como referido anteriormente, necessitam de cápsula. Assim sendo, nos modelos que recorrem à utilização de garrafas com rolha de cortiça passa a operar uma *machine* (o capsulador) que não opera quando as garrafas são de cápsula roscada.

De resto, os modelos funcionam todos eles com os mesmos processos, com os mesmos ciclos e com os mesmos materiais.

6.4. VALIDAÇÃO DO MODELO

Após várias simulações e comparação dos valores obtidos em simulação com valores da realidade, pode-se dizer que os modelos desenvolvidos para a linha 2 (apresentados acima) são válidos. Relativamente aos modelos que representam a linha 1, estes apresentam valores de produção de garrafas distintos dos valores reais. Contudo, foram testados todos os parâmetros inseridos na modelação dos equipamentos, concluindo-se que os valores se encontram corretos. Foi ainda feito um ensaio real, com uma única garrafa colocada na linha e verificando todos os tempos de ciclo em cada uma das máquinas, bem como o tempo que a garrafa demora a percorrer a linha desde que é colocada no início desta, sendo que o tempo obtido nesse ensaio corresponde ao tempo que uma garrafa em simulação demora a fazer o mesmo percurso. A Figura 71 apresenta valores referentes à quantidade de garrafas produzidas na linha 1, por cada dia de trabalho, e ainda os valores referentes às simulações efetuadas para esta linha. Como é possível ver nesta figura, a produção real é superior à produção obtida a partir do modelo de simulação.

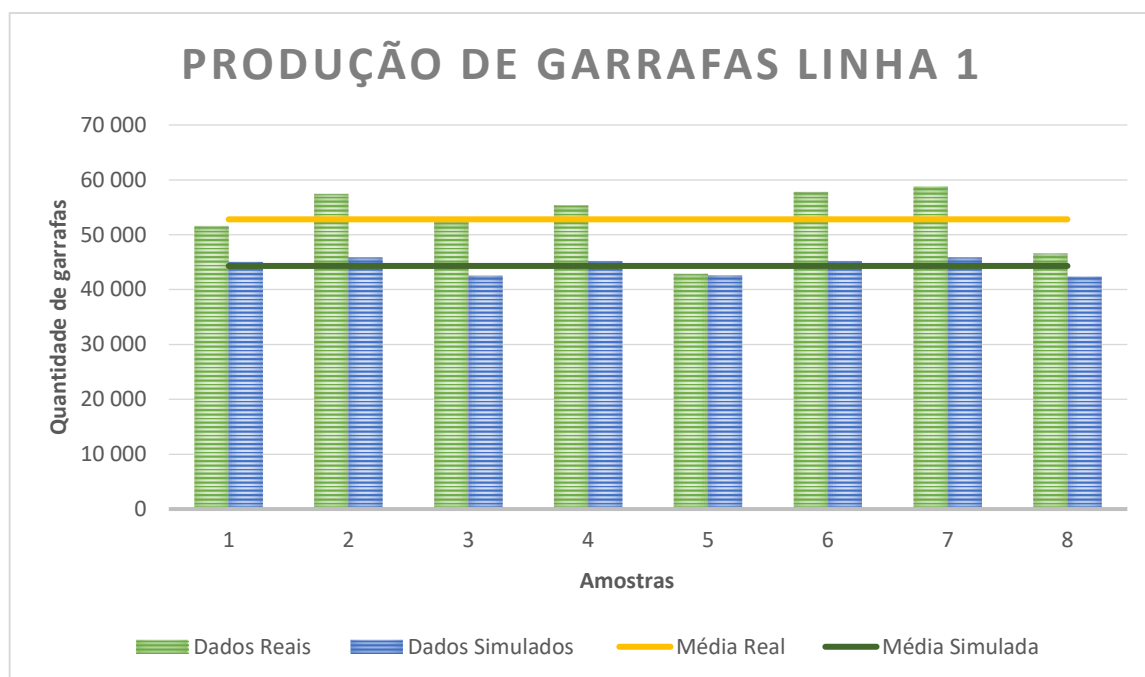


Figura 71 Valores reais e simulados de quantidade de garrafas produzidas na linha 1 em 8 horas

A Figura 72 diz respeito à quantidade de garrafas produzidas pela linha 2, por cada dia de trabalho, e os respectivos valores resultantes das simulações da linha 2. Da análise desta tabela, é possível concluir que a produção real é muito aproximada à produção obtida a partir do modelo de simulação.

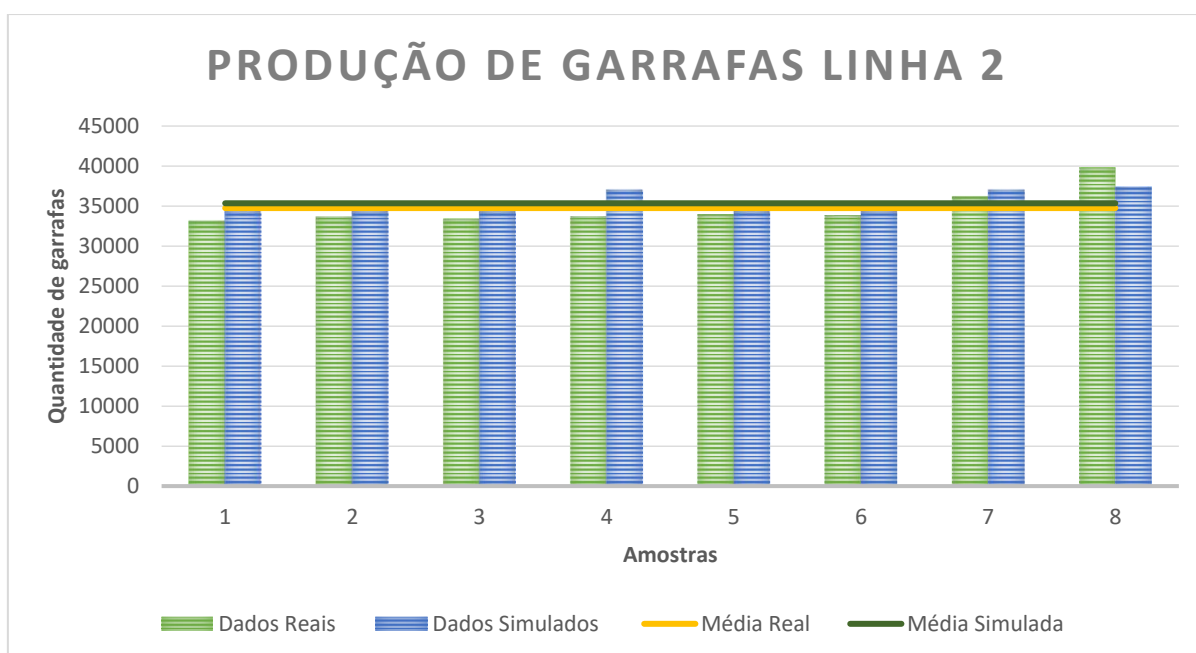


Figura 72 Valores reais e simulados da quantidade de garrafas produzidas na linha 2 em 8 horas

7. ANÁLISE DA LINHA PARA PROPOSTA DE MELHORIAS

Neste capítulo são expostas algumas sugestões de soluções, de forma a garantir possíveis melhorias na linha de engarrafamento.

A ferramenta base para a concretização deste objetivo é o software Delmia QUEST. Após várias simulações, com o auxílio desta ferramenta conseguiu-se obter a percepção de onde se poderia melhorar a linha. Foram realizadas simulações que permitiram verificar como variam os modelos com a variação dos tempos dos processos. Foi ainda testado um novo layout das linhas, de forma a ser possível verificar o comportamento futuro das linhas com a implementação de uma nova enxaguadora.

7.1. REDUÇÃO DO TEMPO DE ENCHIMENTO

Recorrendo à ferramenta de simulação, e após várias execuções do modelo de simulação, percebeu-se que a taxa de utilização da enchedora era das mais elevadas, em ambas as linhas.

Assim sendo, achou-se interessante fazer um estudo acerca do que aconteceria caso esta máquina não tivesse uma taxa de utilização tão elevada. Posto isto, decidiu-se reduzir o tempo de ciclo da enchedora em 1 segundo.

7.1.1. REDUÇÃO DO TEMPO DE ENCHIMENTO NA LINHA 1

Uma vez alterados os parâmetros do modelo da enchedora, no que respeita ao seu tempo de ciclo, colocou-se a simulação a correr. A Tabela 13 apresenta os resultados da linha 1 sem qualquer alteração na enchedora.

Tabela 13 Resultados da simulação com tempo de ciclo da enchedora da linha 1 inalterado

Nome da Máquina	Tempos - Estado			Utilização (%)	Partes Adicionadas	Partes Rejeitadas	No. de Produtos
	Inativo	Ocupado-Processamento	Bloqueado - Bloco de espera				
Despaletizadora	0,000	1,607	6,393	20,087	40055	0	40055
Enxaguadora	4,812	3,188	0,000	39,845	39794	0	39794
Enchedora	4,489	3,511	0,000	43,890	39553	0	39552
Rolhador	4,684	3,316	0,000	41,452	39528	0	39528
Capsuladora1	5,152	2,848	0,000	35,600	39061	0	39061
Capsuladora2	4,744	3,256	0,000	40,705	39061	0	39061
Capsuladora3	4,978	3,022	0,000	37,772	39061	0	39060
Rotuladora	4,969	3,031	0,000	37,886	38968	0	38968
Encartonadora	7,462	0,538	0,000	6,721	45048	0	6435
Formar_caixas	0,000	3,499	4,500	43,742	6478	0	6477
Fechar_caixas	4,547	3,453	0,000	43,164	6421	0	6420

Após terminada a simulação com a alteração do tempo de ciclo da enchedora da linha 1, obteve-se a Tabela 14.

Tabela 14 Resultados da simulação com o tempo de ciclo da enchedora da linha 1 reduzido em 1 segundo

Nome da Máquina	Tempos - Estado			Utilização (%)	Partes Adicionadas	Partes Rejeitadas	No. de Produtos
	Inativo	Ocupado-Processamento	Bloqueado - Bloco de espera				
Despaletizadora	0	1,601	6,399	20,014	40055	0	39900
Enxaguadora	4,801	3,188	0,011	39,851	39949	0	39794
Enchedora	4,718	3,279	0,002	40,992	39858	0	39706
Rolhador	4,65	3,342	0,007	41,78	40001	0	39849
Capsulador1	5,103	2,881	0,016	36,015	39582	0	39527
Capsulador2	4,694	3,299	0,007	41,237	39638	0	39582
Capsulador3	4,933	3,065	0,002	38,309	39694	0	39638
Rotuladora	4,92	3,08	0,000	38,502	39601	0	39602
Encartonadora	7,453	0,547	0,000	6,832	6542	0	45800
Formar_caixas	0,000	3,557	4,443	44,464	6585	0	6585
Fechar_caixas	4,491	3,509	0,000	43,865	6527	0	6527

Após análise de dados, conclui-se que em termos de produção de garrafas na enchedora, há um aumento de 154 garrafas por dia de 8 horas de trabalho, e em termos de taxa de utilização do equipamento há uma diminuição de 43,890% para 40,992%.

Trata-se de uma possível melhoria a ser implementada, caso o vinho a encher proporcione condições para tal, como foi referido na Subsecção 2.3.1.

7.1.2. REDUÇÃO DO TEMPO DE ENCHIMENTO NA LINHA 2

Após alteração dos parâmetros do modelo da enchedora, no que diz respeito ao tempo de ciclo desta, passou-se à simulação dos modelos. Constatou-se que em termos visuais de funcionamento da linha não se verificam quaisquer alterações face à situação anterior – as garrafas fluem na linha sem que haja acumulação de garrafas ao longo desta. Depois de terminadas as simulações, verificaram-se os resultados obtidos, sendo estes apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 Resultados da simulação com tempo de ciclo da enchedora da linha 2 inalterado

Nome da Máquina	Tempos - Estado			Utilização (%)	Partes Adicionadas	Partes Rejeitadas	No. de Produtos
	Inativo	Ocupado-Processamento	Bloqueado - Bloco de espera				
Despaletizadora	0,000	2,974	5,026	37,154	32308	0	32448
Enxaguadora	3,237	4,762	0,000	59,535	32349	0	32348
Enchedora	2,975	5,025	0,000	62,809	32216	0	32202
Rolhador	3,297	4,703	0,000	58,798	32202	0	32188
Capsulador	3,022	4,978	0,000	62,224	32014	0	32001
Rotuladora	3,622	4,378	0,000	54,739	31841	0	31841
Encartonadora	7,582	0,418	0,000	5,220	34304	0	2638
Formar_caixas	0,000	3,360	4,640	42,007	2665	0	2665
Máq_Divisórias	0,009	2,473	5,518	30,912	2658	0	2658
Fechar_caixas	6,111	1,889	0,000	23,587	2635	0	2635

Após alteração do tempo de ciclo da enchedora da linha 2, obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 Resultados da simulação com o tempo de ciclo da enchedora da linha 2 reduzido em 1 segundo

Nome da Máquina	Tempos - Estado			Utilização (%)	Partes Adicionadas	Partes Rejeitadas	No. de Produtos
	Inativo	Ocupado-Processamento	Bloqueado - Bloco de espera				
Despaletizadora	0,000	2,974	5,026	37,180	32308	0	32448
Enxaguadora	3,238	4,762	0,000	59,531	32349	0	32348
Enchedora	3,274	4,726	0,000	59,073	32216	0	32202
Rolhador	3,297	4,703	0,000	58,792	32202	0	32188
Capsulador	3,022	4,978	0,000	62,226	32014	0	32001
Rotuladora	3,622	4,378	0,000	54,726	31841	0	31841
Encartonadora	7,582	0,418	0,000	5,220	34304	0	2638
Formar_caixas	0,000	3,360	4,640	42,000	2665	0	2665
Máq_Divisórias	0,009	2,473	5,518	30,915	2658	0	2658
Fechar_caixas	6,111	1,889	0,000	23,609	2635	0	2635

Da análise das tabelas percebe-se que o *bottleneck* deixa de ser a enchedora e que passa a ser o capsulador. Contudo, em relação à quantidade de garrafas produzidas à saída da linha, não se verifica nenhuma diferença. A taxa de utilização da enchedora passa de 62,809% para 59,073%.

Daqui, concluiu-se que em termos de *output* o resultado obtido não é significativo ao ponto de se perspetivar a substituição deste equipamento.

7.2. ALTERAÇÃO NA MODELAÇÃO DO ENXAGUAMENTO

A parte do enxaguamento vai ser abordada de forma diferente uma vez que o *layout* existente na Aveleda, S.A. será modificado. Posto isto, sentiu-se ser importante perceber como esta implementação de uma nova enxaguadora, com uma nova posição no espaço físico da fábrica, irá afetar todo o resto da linha.

7.2.1. ALTERAÇÃO NA MODELAÇÃO DO ENXAGUAMENTO NA LINHA 1

Futuramente o *layout* da linha 1 irá sofrer uma alteração significativa na zona de enchimento, uma vez que será implementada uma nova máquina, responsável pela lavagem das garrafas antes do enchimento. O novo *layout* é o apresentado na Figura 73, sendo a grande mudança na posição da enxaguadora, uma vez que esta atualmente se encontra em frente da enchedora e futuramente passará a estar ao lado desta.

Está prevista a implementa deste novo equipamento para o próximo mês de novembro de 2016. É de salientar que o principal motivo para a substituição deste equipamento é o facto de o atual já estar num estado de envelhecimento avançado e provocar vários encravamentos. Esta nova máquina tem a capacidade de lavar 50 garrafas de uma só vez com um tempo de ciclo mínimo de 8,5 segundos.

Tabela 17 Resultados da simulação com a futura enxaguadora da linha 1

Nome da Máquina	Tempos - Estado			Utilização (%)	Partes Adicionadas	Partes Rejeitadas	No. de Produtos
	Inativo	Ocupado-Processamento	Bloqueado - Bloco de espera				
Despaletizadora	0,000	1,607	6,393	20,083	40055	0	40055
Enxaguadora	5,793	2,207	0,000	27,587	39725	0	39725
Enchedora	4,476	3,524	0,000	44,048	39703	0	39702
Rolhador	4,665	3,331	0,004	41,631	39702	0	39791
Capsuladora1	5,141	2,859	0,000	35,741	39224	0	39224
Capsuladora2	4,731	3,269	0,000	40,866	39224	0	39223
Capsuladora3	4,967	3,033	0,000	37,912	39223	0	39223
Rotuladora	4,956	3,044	0,000	38,053	39138	0	39138
Encartonadora	7,461	0,539	0,000	6,742	45198	0	6456
Formar_caixas	0,000	3,510	4,490	43,872	6499	0	6499
Fechar_caixas	4,533	3,467	0,000	43,335	6442	0	6442

Após análise dos resultados da simulação referente ao futuro *layout* da linha 2, percebe-se que a taxa de utilização da enxaguadora atualmente é 39,852% e que futuramente será 27,587%.

7.2.2. ALTERAÇÃO NA MODELAÇÃO DO ENXAGUAMENTO NA LINHA 2

Também a linha 2 sofrerá uma alteração na zona de enchimento, com a substituição da enxaguadora, como se evidencia na Figura 75.

Também aqui, apesar de ser esperada uma diminuição significativa do ponto de vista da taxa de utilização deste equipamento, o principal motivo para a substituição deste equipamento é o facto de o atual já estar num estado de envelhecimento avançado e provocar vários encravamentos. No caso desta linha, o novo equipamento terá capacidade para lavar 36 garrafas em simultâneo com um tempo de ciclo mínimo de 9 segundos.

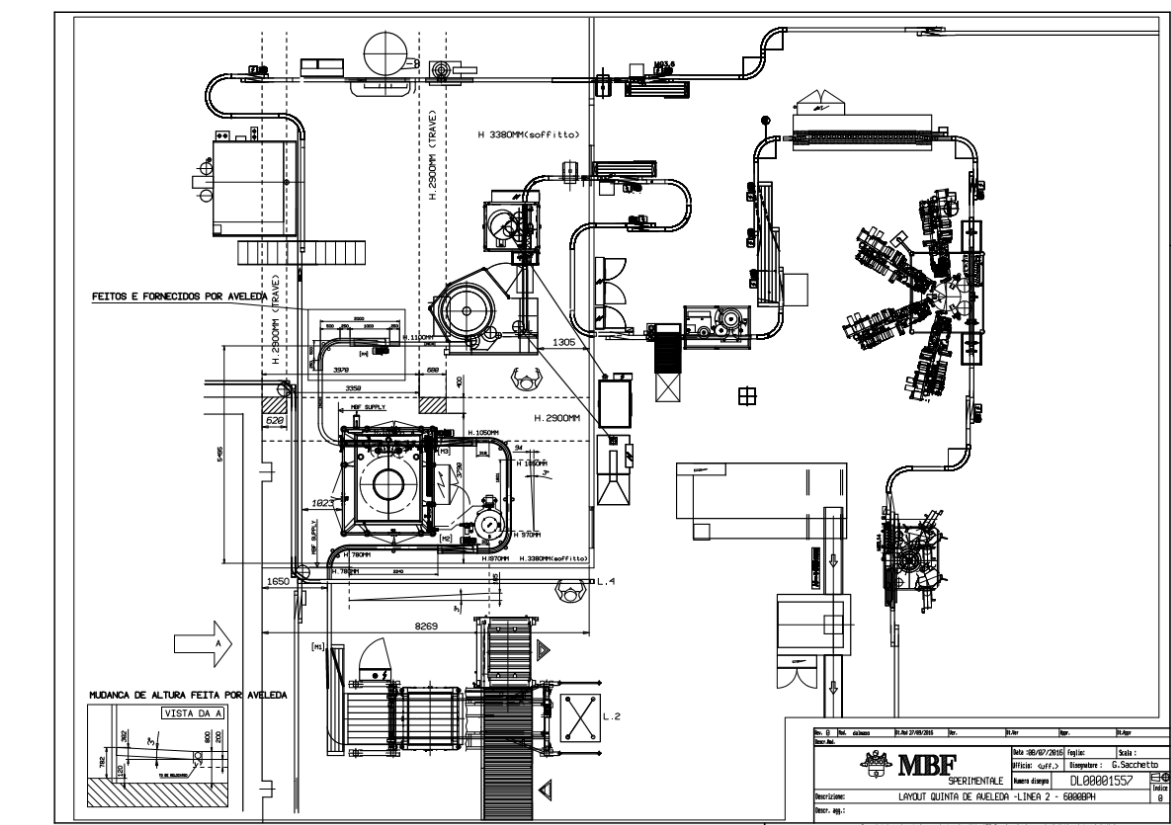


Figura 75 Novo layout da linha 2

Após nova modelação da linha 2 no simulador QUEST (ver Figura 76), obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 18.

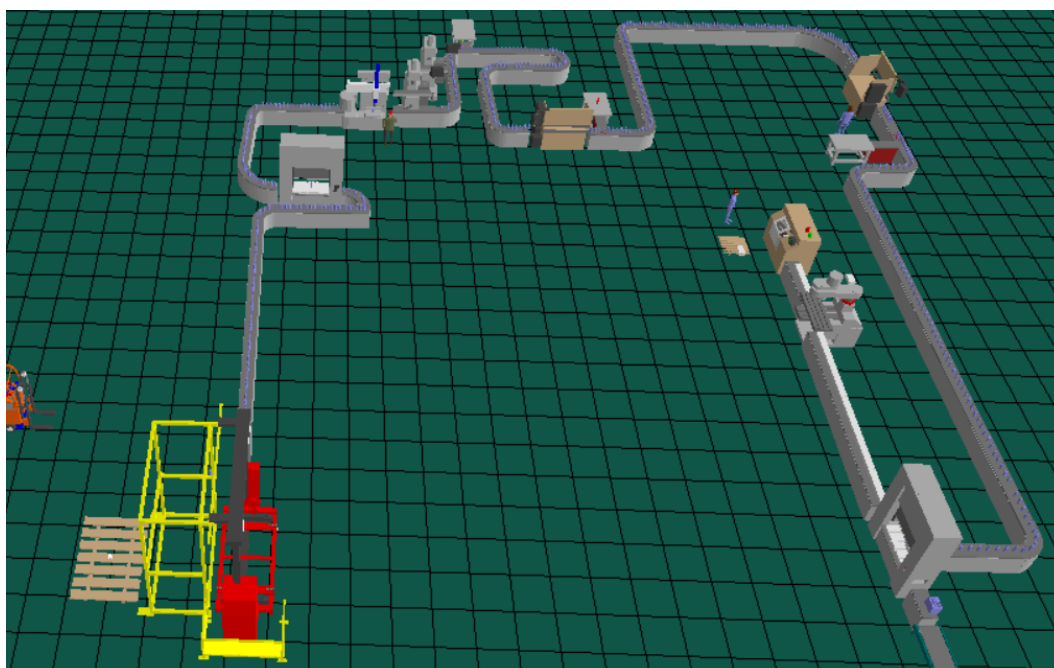


Figura 76 Modelação de novo layout referente à linha 2

Tabela 18 Resultados da simulação com a futura enxaguadora da linha 2

Nome da Máquina	Tempos - Estado			Utilização (%)	Partes Adicionadas	Partes Rejeitadas	No. de Produtos
	Inativo	Ocupado-Processamento	Bloqueado - Bloco de espera				
Despaletizadora	0,000	2,972	5,028	37,149	32286	0	32448
Enxaguadora	5,754	2,246	0,000	28,072	32339	0	32339
Enchedora	2,965	5,035	0,000	62,940	32282	0	32273
Rolhador	3,286	4,714	0,000	58,926	32273	0	32265
Capsulador	3,014	4,986	0,000	62,330	32068	0	32059
Rotuladora	3,613	4,387	0,000	54,840	31905	0	31904
Encartonadora	7,582	0,418	0,000	5,230	34368	0	2643
Formar_caixas	0,000	3,367	4,633	42,088	2670	0	2670
Divisórias	0,009	2,479	5,512	30,983	2663	0	2663
Fechar_caixas	6,110	1,890	0,000	23,621	2640	0	2640

Após análise dos resultados da simulação referente ao futuro *layout* da linha 2, percebe-se que a taxa de utilização da enxaguadora atualmente é 59,531% e futuramente será 28,072%.

7.3. REDUÇÃO DO TEMPO DE MÁQUINA DE FORMAR CAIXAS DE 12 UNIDADES

De acordo com os resultados das simulações, verifica-se que a máquina de formar caixas tem uma das taxas de utilização mais elevadas comparativamente às outras máquinas. Assim sendo, decidiu-se reduzir um segundo ao tempo de ciclo desta máquina para se perceber até que ponto se deve atuar na melhoria deste equipamento.

Na produção de caixas de 12 unidades existe um outro equipamento que não é utilizado aquando da produção de caixas de 6 unidades – a máquina da formação e colocação das divisórias. Este pode ser um fator que contribua para que na produção de caixas de 12 unidades o processo de produção da mesma seja mais demorado, uma vez que depende da disponibilidade de um outro equipamento.

7.3.1. REDUÇÃO DO TEMPO DE CICLO DA MÁQUINA DE FORMAR CAIXAS DE 12 UNIDADES DA LINHA 1

Posto isto, passam-se a apresentar os resultados antes e depois da diminuição de 1 segundo no tempo de ciclo. Na Tabela 19 são apresentados os resultados da simulação referentes à linha 1, com produção de caixas de 12 unidades, sem qualquer tipo de alteração do tempo de ciclo dos equipamentos.

Tabela 19 Resultados da simulação com o tempo de ciclo da máquina de formar caixas e divisórias da linha 1 inalterado

Nome da Máquina	Tempos - Estado			Utilização (%)	Partes Adicionadas	Partes Rejeitadas	No. de Produtos
	Inativo	Ocupado-Processamento	Bloqueado - Bloco de espera				
Despaletizadora	0,000	1,606	6,394	20,073	40003	0	40059
Enxaguadora	4,812	3,188	0,000	39,854	39799	0	39798
Enchedora	4,488	3,512	0,000	43,896	39563	0	39563
Rolhador	4,680	3,320	0,000	41,494	39563	0	39562
Capsulador1	5,148	2,852	0,000	35,648	39102	0	39101
Capsulador2	4,670	3,330	0,000	41,622	39101	0	39086
Capsulador3	4,762	3,238	0,000	40,479	39086	0	39086
Rotuladora	4,968	3,032	0,000	37,897	38984	0	38984
Encartonadora	4,578	3,422	0,000	42,769	41768	0	3212
Formar_caixas	0,000	3,523	4,477	44,033	3247	0	3247
Divisórias	0,003	4,255	3,742	53,190	3232	0	3231
Fechar_caixas	6,248	1,752	0,000	21,904	3186	0	3186

A Tabela 20 já apresenta os resultados referentes à simulação onde se reduziu 1 segundo ao tempo de ciclo da máquina de formar caixas e à das divisórias.

Tabela 20 Resultados da simulação com o tempo da máquina de formar caixas e divisórias da linha 1 reduzido em 1 segundo

Nome da Máquina	Tempos - Estado			Utilização (%)	Partes Adicionadas	Partes Rejeitadas	No. de Produtos
	Inativo	Ocupado-Processamento	Bloqueado - Bloco de espera				
Despaletizadora	0,000	1,605	6,395	20,064	40001	0	40059
Enxaguadora	4,812	3,188	0,000	39,856	39799	0	39798
Enchedora	4,488	3,512	0,000	43,899	39563	0	39563
Rolhador	4,681	3,319	0,000	41,484	39563	0	39563
Capsulador1	5,151	2,849	0,000	35,612	39093	0	39092
Capsulador2	4,670	3,330	0,000	41,623	39092	0	39081
Capsulador3	4,763	3,237	0,000	40,466	39081	0	39081
Rotuladora	4,969	3,031	0,000	37,882	38967	0	38967
Encartonadora	4,580	3,420	0,000	42,745	41743	0	3210
Formar_caixas	0,005	3,074	4,922	38,420	3245	0	3245
Divisórias	0,004	3,355	4,642	41,933	3230	0	3230
Fechar_caixas	6,252	1,748	0,000	21,876	3184	0	3184

Como se conclui da análise dos dados presentes na Tabela 21, há uma redução significativa da taxa de utilização das máquinas em questão. Contudo, na quantidade de produção de caixas, há uma redução na sua produção, anteriormente à alteração verifica-se uma produção de 3186 caixas, após se reduzir o tempo de ciclo regista-se uma produção de 3184 caixas. Assim sendo, não se justifica alterar estas máquinas de forma a reduzir 1 segundo ao seu tempo de ciclo.

Tabela 21 Comparação das taxas de utilização da máquina de formar caixas e divisórias da linha 1 antes e depois da alteração do tempo de ciclo

Máquinas	Taxa utilização s/alteração (%)	Taxa utilização c/alteração (%)
Divisórias	53,190	41,933
Formar_caixas_12	44,033	38,420

7.3.2. REDUÇÃO DO TEMPO DE CICLO DA MÁQUINA DE FORMAR CAIXAS DE 12 UNIDADES DA LINHA 2

Após execução das simulações, obtiveram-se os resultados presentes na Tabela 22.

Tabela 22 Resultados da simulação com o tempo de ciclo da máquina de formar caixas e divisórias da linha 2 inalterado

Nome da Máquina	Tempos - Estado			Utilização (%)	Partes Adicionadas	Partes Rejeitadas	No. de Produtos
	Inativo	Ocupado-Processamento	Bloqueado - Bloco de espera				
Despaletizadora	0,000	2,972	5,028	37,154	32290	0	32448
Enxaguadora	3,237	4,763	0,000	59,535	32349	0	32348
Enchedora	2,975	5,025	0,000	62,809	32216	0	32205
Rolhador	3,296	4,704	0,000	58,798	32205	0	32194
Capsulador	3,022	4,978	0,000	62,224	32008	0	31991
Rotuladora	3,621	4,379	0,000	54,739	31841	0	31841
Encartonadora	7,582	0,418	0,000	5,220	34298	0	2638
Formar_caixas	0,000	3,361	4,639	42,007	2665	0	2664
Divisórias	0,009	2,473	5,518	30,912	2658	0	2657
Fechar_caixas	6,113	1,887	0,000	23,587	2635	0	2635

A Tabela 23 mostra os resultados da simulação referente à linha 2, quando se procede à diminuição de 1 segundo no tempo de ciclo na máquina de formar caixas e na máquina das divisórias.

Tabela 23 Resultados da simulação com o tempo da máquina de formar caixas e divisórias da linha 2 reduzido em 1 segundo

Nome da Máquina	Tempos - Estado			Utilização (%)	Partes Adicionadas	Partes Rejeitadas	No. de Produtos
	Inativo	Ocupado-Processamento	Bloqueado - Bloco de espera				
Despaletizadora	0,000	2,972	5,028	37,156	32288	0	32448
Enxaguadora	3,238	4,762	0,000	59,528	32349	0	32348
Enchedora	2,976	5,024	0,000	62,804	32216	0	32204
Rolhador	3,296	4,704	0,000	58,796	32204	0	32192
Capsulador	3,025	4,975	0,000	62,192	32003	0	31991
Rotuladora	3,623	4,377	0,000	54,710	31834	0	31834
Encartonadora	7,583	0,417	0,000	5,218	34288	0	2637
Formar_caixas	0,004	2,985	5,011	37,314	2664	0	2663
Divisórias	0,014	1,734	6,251	21,681	2657	0	2657
Fechar_caixas	6,115	1,885	0,000	23,567	2634	0	2634

Como se pode verificar, há efetivamente uma redução na taxa de utilização de ambas as máquinas com a redução do tempo de ciclo em 1 segundo. Em suma obtém-se a Tabela 24.

Tabela 24 Comparação das taxas de utilização da máquina de formar caixas e divisórias da linha 2 antes e depois da alteração do tempo de ciclo.

Máquinas	Taxa utilização s/alteração (%)	Taxa utilização c/alteração (%)
Divisórias	30,912	21,681
Formar_caixas_12	42,007	37,314

Apesar da taxa de utilização diminuir, este facto só por si não justifica alterações nestas máquinas, uma vez que em termos de produção de caixas há uma diferença de apenas uma unidade, o que é completamente irrisório.

8. CONCLUSÕES E IDEIAS PARA TRABALHO FUTURO

Ao longo deste capítulo será feita uma descrição de todas as conclusões tiradas ao longo do estágio na empresa Aveleda, SA. Serão ainda apresentadas propostas para desenvolvimentos futuros e, por último, será feita uma reflexão pessoal sobre o trabalho desenvolvido.

8.1. CONCLUSÕES DO TRABALHO

Esta Dissertação de Mestrado assumiu dois objetivos distintos: a análise e implementação de melhorias nas linhas de produção de engarrafamento de vinho, com maior incidência na linha 1, e a sua simulação recorrendo ao *software* disponibilizado, Delmia QUEST.

Numa primeira fase, esta análise apoiou-se num conjunto de variáveis que contemplam todos os equipamentos implementados nas linhas de engarrafamento da Aveleda, assim como a importância de perceber onde se poderia atuar de forma a melhorar.

Realizaram-se, em primeiro lugar, as recolhas de todos os tempos de ciclo de cada uma das máquinas implementadas na linha 1, através do método das cronometragens, não sendo consideradas quaisquer tipos de paragens na linha, quer por avaria ou falta de carga.

Foram então pensadas, analisadas e testadas melhorias para a linha 1, acabando estas por serem implementadas e com resultados visíveis de melhoria. Estas melhorias passaram pela reprogramação de autómatos, implementação de relés e ainda pela substituição de carretos. Posteriormente, também foram recolhidos e analisados os tempos de ciclo dos equipamentos referentes à linha 2.

Passando para uma segunda fase deste projeto, começou-se por modelar a linha 1 no *software* Delmia QUEST, tendo sido elaborados 4 modelos – estes foram testados diversas vezes até que fossem dados como válidos. Apesar de válidos, os modelos referentes à simulação da linha 1 têm como resultados de simulação valores de produção de garrafas mais baixos relativamente à realidade. Tal deve-se ao facto de aquando da recolha dos tempos de ciclo de cada um dos equipamentos da linha 1, esta estar a produzir a uma velocidade inferior à que atualmente funciona. O mesmo foi efetuado para a linha 2: foram desenvolvidos 4 modelos, tendo estes sido testados e validados. Nas simulações da linha 2 os resultados obtidos são muito aproximados aos valores reais. Ainda foram elaborados mais dois modelos, um para cada uma das linhas, que visam prever o que será esperado acontecer futuramente com a implementação de um novo equipamento (enxaguadoras) na zona de enchimento. Como forma de se perceber se fazia sentido mais alterações com perspetivas de melhorias para as linhas, simularam-se alguns modelos retirando 1 segundo aos tempos de ciclo dos equipamentos que tinham maior taxa de utilização; com estas simulações percebeu-se que o *bottleneck* passaria para outras máquinas, como seria espectável.

A escolha de redução de 1 segundo ao tempo de ciclo destes equipamentos específicos deve-se a duas condicionantes. A primeira ao facto de serem os equipamentos com maior taxa de utilização, pretendendo-se estudar o que se poderia melhorar para o deixar de ser. A segunda ao facto de ser apenas 1 segundo uma vez que as máquinas implementadas nas linhas já se encontram praticamente no seu limite máximo de funcionamento, não havendo aqui grande margem de possibilidade em termos de alterações dos tempos de ciclo a serem aumentados.

Como foi possível de verificar no Capítulo 7, o tempo de ciclo da enchedora poderá ser diminuído em, pelo menos, 1 segundo, reduzindo assim a taxa de utilização deste equipamento, bem como aumentando ainda a produção de garrafas enchidas em cerca de 153 unidades por dia de trabalho de 8 horas.

Conclui-se que os todos objetivos propostos foram atingidos com sucesso, tendo sido concretizadas todas as etapas propostas, de acordo com o esperado.

8.2. PROPOSTAS PARA DESENVOLVIMENTO FUTURO

Sugere-se que seja estudada e pensada, de forma a mais tarde vir a ser implementada, uma gestão de linha para a linha 2. Esta linha está constantemente a sofrer alterações de produções de produtos, o que leva a uma diminuição de produção de garrafas por dia, uma vez que, devido às diversas paragens perde-se tempo, tempo esse que poderia ser aproveitado para aumentar a produção de garrafas.

Sobre o ponto de vista energético, propõe-se que as máquinas de aquecimento das colas, acopladas às máquinas de formar caixas de ambas as linhas, como também as que se encontram após o fecho das caixas, largando apenas uns pingos de cola que ajudam as caixas a segurarem-se melhor em cima das paletes, não estejam tanto tempo ligadas quando a linha não está a produzir. Em suma, mediante o plano semanal de horas de produção, os relógios destas máquinas deveriam ser ajustados, evitando assim desperdícios energéticos que se tornam desperdícios monetários.

8.3. REFLEXÃO PESSOAL SOBRE O TRABALHO DESENVOLVIDO

No plano pessoal, a experiência de realizar o estágio curricular na Aveleda foi bastante enriquecedora. Apesar de um ambiente totalmente distinto do ambiente académico, a passagem pelo mundo empresarial, uma vez mais, revelou-se muito positiva. Com o passar do tempo, foi notória a facilidade de integração no espírito de equipa e também o sentido de responsabilidade enquanto profissional foi sendo desenvolvido. Gostei do trabalho que foi sendo desenvolvido, sentindo-me sempre motivada para mais um dia de trabalho, desde o início ao fim do estágio.

Foi sem dúvida recompensador e contribuiu em muito para aumentar a bagagem de conhecimento que me acompanha.

Conheci e partilhei conhecimentos com pessoas incríveis, que me acolheram como se se tratasse de uma família e não de uma empresa.

Sinto-me agradecida e feliz por ter concluído esta etapa importante na minha vida académica e, acima de tudo, de forma positiva, tendo sido atingidos os objetivos que me propuseram.

Referências Documentais

- [1] A.G Fallis, ‘Aveleda, História Da Empresa’, *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53.9 (2013), 1689–99
<<http://dx.doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>>.
- [2] Ncultura, ‘Quinta Da Aveleda (Penafiel)’, 2015 <<http://ncultura.pt/quinta-da-aveleda-penafiel/>>.Ncultura.
- [3] P Público, ‘Fugasvinhos (/)’, 2016 (2016)
<http://fugas.publico.pt/vinhos/305154_seculo-e-meio-de-historia-e-alicerces-para-muitos-mais-anos?pagina=-1>.
- [4] ‘Jesus Couto Pereira - Empresa’, 2016
<<http://www.jesuscoutopereira.com/produtos.php?p=2>>.
- [5] ‘Shiny Gold 20 Screw Cap with Saranex Liner :: Screw Caps :: Product :: Brick Packaging’, 2016
<http://www.brickpackaging.com/product/7/Screw_Caps/421/Shiny_Gold_20_Screw_Cap_with_Saranex_Liner/>.
- [6] ‘Casal Garcia - Aveleda Shop’, 2016
<http://www.aveledashop.pt/epages/960350504.sf/pt_PT/?ObjectPath=/Shops/960350504/Categories/Vinhos/Por_Marca/Casal_Garcia>.
- [7] ‘José Carvalheira – LQE Da DRAPC – EVB’.
< http://www.drapc.min-agricultura.pt/base/geral/files/engarrafamento_e_rolhamento_2010.pdf>
- [8] Luiz Antenor Rizzon and Julio Meneguzzo, ‘Sistema de Produção de Vinho Tinto’, 2006
<<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Vinho/SistemaProducaoVinhoTinto/engarrafamento.htm>>.
- [9] ‘Aveleda Vinho Verde 75CL - Aveleda Shop’, 2016
<<http://www.aveledashop.pt/Aveleda-Vinho-Verde>>.
- [10] Associação Empresarial de Portugal AEP, *Métodos E Tempos*, 2003
<http://pme.aeportugal.pt/Aplicacoes/Documentos/Uploads/2005-03-08_15-31-16_Metodos e Tempos.pdf>.
- [11] IST, ‘Estudo Dos Tempos - Método Das Cronometragens’, 2013, 1–6
<[https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779571245991/Estudo dos Tempos.pdf](https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779571245991/Estudo%20dos%20Tempos.pdf)>.

- [12] Agner Krarup Erlang, 'Erlang', 2007
<<http://www.erlang.com.br/simulacao.asp>>.
- [13] Jerry Banks and others, 'Discrete-Event System Simulation', *PrenticeHall International Series in Industrial and Systems Engineering*, 2004, 624
<<http://dx.doi.org/10.2307/1268124>>.
- [14] Pegden, C. Dennis. Introduction to Simulation Using SIMAN – Second Edition. McGraw-Hill – 1995.
- [15] Sharon Dantas, 'Modelagem de Sistemas', 2015 (2015), 1–41
<http://homepages.dcc.ufmg.br/~cesarfmc/classes/es/Capitulo_05.pdf>.
- [16] 'Fundamentos de Modelagem de Sistemas IA 881 Otimização Linear'
<<http://www.dca.fee.unicamp.br/~gomide/courses/IA881/transp/IA881Modelagem.pdf>>.'Fundamentos de Modelagem de Sistemas IA 881 Otimização Linear'.
- [17] Jagadev, H. S. , Bowne, J., Jordan P. Verification and validation issues in manufacturing models. Computers in Industry, n. 25, p. 331-353, 1995
- [18] Law, A M., Kelton, W. D. Simulation modeling and analysis. 2. ed. Singapore: McGraw-Hill series in industrial engineering and management science, 1991. 759p.
- [19] Claudio Garcia, Modelagem E Simulação de Processos Industriais E de Sistemas Eletromecânicos, 2. ed. rev (São Paulo: Universidade de São Paulo, 2005).
- [20] Winston, W. L. Operations research: applications and algorithms. 3. ed. Belmont, California: Wadsworth Publishing Company, 1994. 1353p
- [21] Menner, W. A. Introduction to modeling and simulation. Johns Hopkins APL Technical digest, v. 16, n. 1, p. 6-17, 1995.
- [22] Zbigniew M. Bzymek and others, 'Simulation of a Machining Sequence Using Delmia/quest Software', *Computer-Aided Design and Applications*, 2008, 401–11 <<http://dx.doi.org/10.3722/cadaps.2008.401-411>>.
- [23] Manuel Silva, 'ETEME: Estudos de Tempos E Métodos, A Medida Do Trabalho', 2014, 1–6
<https://moodle.isep.ipp.pt/pluginfile.php/52356/mod_resource/content/1/Cap.3.pdf>.
- [24] Paulo Ávila and Ismael Cavaco, 'Processo Conceito E Fundamentos Capítulo - I', 2008, 22–23
<https://moodle.isep.ipp.pt/pluginfile.php/47349/mod_resource/content/1/Cap.I.pdf>.

Anexo A. Tempos de ciclo - Linha 1

Apresentam-se, neste anexo, o conjunto de tabelas elaboradas no início do estágio, aquando do levantamento de dados dos equipamentos da linha 1, para mais tarde implementar na modelação dos equipamentos no *software* disponibilizado, Delmia QUEST. Estes valores foram recolhidos através do método das cronometragens e representam o tempo de ciclo de cada uma das máquinas implementadas na linha 1.

Tabela 25 Valores dos tempos de ciclo de cada equipamento recolhidos da linha 1

Despaletizadora												
Ciclos (s)	47,29	43,53	39,19	35,99	42,63	42,92	40,15	42,76	48,17	48,6	58,08	44,79
	46,96	45,95	43,94	40,34	42,49	47,1	55,76	45,32	43,5	52,95	42,76	46,45
	50,63	51,76	52,9	43,42	44,32	44,85	55,47	52,67	44,07	52,16	45,9	49,76
	48,87	40,07	48,45	40,68	41,46	40,57	45,54	46,44	53,5	43,9	52,13	47,74
	50,03	49,39	45,95	45,45	46,96	44,41	55,62	43,5	53,68	49,01	52,09	48,5
	48,07	48,09	48,42	49,08	47,93	47,49	50,59	51,63	58,3	49,48	54,28	46,4
Média p/ciclo (s):	48,64	46,47	46,48	42,49	44,30	44,56	50,52	47,05	50,20	49,35	50,87	47,27
Média total (s):	47,35											
							Nº ciclos/min	Nº ciclos/h		Nº garrafas/h		
							1,27	76,03		24938		
Lavadora												
Ciclos (s)	125,6	127,9	127,9	126,2	125,3	126,7	124,4	129,4	129,2	128,1	128,1	127,4
	127,5	126	126,2	126,2	124,7	125,9	125	129,1	128,5	128,1	128,1	127,6
	128,8	127	126,2	126,2	125,4	122,7	125,3	128,8	128,3	128,2	128,3	124,1
	126,4	127,6	126,2	126,3	122,2	124	123	128,6	128,4	128,8	125,4	128,1
	125,5	125,6	127,1	127	125,6	131,8	128,5	128,6	128,3	124,2	126,7	129,9
	125,8	126,6	125,7	126,9	125,1	124,3	130,1	128,1	128,5	127,9	127,1	128,3
Média p/ciclo (s):	126,60	126,78	126,56	126,45	124,69	125,90	126,05	128,77	128,52	127,54	127,30	127,57
Média total (s):	126,89											
							Nº ciclos/min	Nº ciclos/h		Nº garrafas/h		
							0,47	28,37		12483		
Enchedora												

Ciclos (s)	14,53	14,59	14,59	14,21	14,67	14,31	14,25	14,45	14,24	14,33	14,35	14,26
	14,47	14,47	14,52	14,33	14,32	14,4	14,2	14,25	14,21	14,27	14,33	14,35
	15,23	14,79	14,39	14,32	14,38	14,5	14,2	14,31	14,33	14,26	14,32	14,25
	14,77	14,34	14,31	14,31	14,6	14,29	14,46	14,4	14,35	14,24	14,27	14,32
	14,61	14,78	14,2	14,33	14,34	14,28	14,39	14,25	14,4	14,33	14,31	14,33
	14,4	14,39	14,32	14,3	14,34	14,3	14,4	14,28	14,28	14,27	14,34	14,26
Média p/ciclo (s):	14,67	14,56	14,39	14,30	14,44	14,35	14,32	14,32	14,30	14,28	14,32	14,30
Média total (s):	14,38											
							Nº ciclos/min	Nº ciclos/h		Nº garrafas/h		
							4,17	250,35		11266		
Rolhador												
Ciclos (s)	2,69	3,16	2,89	3,02	3,03	3,09	3,08	3,02	2,97	3,08	2,96	2,96
	3,08	3,08	3,02	3,08	3,02	2,99	2,97	3,03	3,04	3,16	2,96	2,96
	3,08	2,89	2,94	2,95	3,01	3,02	2,9	2,95	2,96	3,01	2,99	3,02
	2,96	3,08	3,01	2,83	3,08	2,95	3,15	2,95	3,01	2,99	3,01	2,96
	3	3,01	3,09	3,15	3,02	2,9	3,16	3,01	3,08	3,08	3,02	2,96
	3,09	3,16	2,97	3,17	3,16	3,08	3,14	2,95	2,96	3,02	2,96	2,96
Média p/ciclo (s):	2,98	3,06	2,99	3,03	3,05	3,01	3,07	2,99	3,00	3,06	2,98	2,97
Média total (s):	3,02											
							Nº ciclos/min	Nº ciclos/h		Nº garrafas/h		
							19,87	1192,05		11921		
Screwcap												
Ciclos (s)	2,61	2,3	2,38	2,43	2,47	2,43	2,42	2,39	2,35	2,35	2,42	2,35
	2,52	2,35	2,3	2,43	2,48	2,42	2,43	2,52	2,34	2,38	2,38	2,46
	2,65	2,34	2,57	2,39	2,39	2,45	2,43	2,35	2,47	2,34	2,48	2,47
	2,45	2,21	2,41	2,37	2,34	2,4	2,3	2,56	2,51	2,45	2,47	2,34
	2,47	2,42	2,3	2,35	2,44	2,5	2,47	2,5	2,43	2,47	2,51	2,52
	2,6	2,46	2,43	2,31	2,32	2,52	2,5	2,47	2,4	2,38	2,39	2,38
Média p/ciclo (s):	2,55	2,35	2,40	2,38	2,41	2,45	2,43	2,47	2,42	2,40	2,44	2,42
Média total (s):	2,43											
							Nº ciclos/min	Nº ciclos/h		Nº garrafas/h		

							24,69	1481,48	11852			
Capsulador_1												
Ciclos	1,01	1	0,93	0,94	1,05	1	1,03	0,97	0,96	1	0,99	1,1
	1,16	0,94	1,08	1,16	1,06	1,04	1,14	1,07	1	1,02	1,09	0,97
	1,1	1,13	1,04	1,09	1,06	0,94	1,04	1,02	1,05	1,1	1,01	1,02
	1,08	1,09	1,09	1,01	1,08	1,02	1,07	1,1	1,09	1	1,04	1,1
	1,03	1,07	1,1	1,16	1,08	1	1,11	1,11	1,05	1,14	1,15	1,02
	1,07	1,07	1,01	1,06	1,03	0,99	1,16	0,97	1,15	1,14	1,07	0,98
Média p/ciclo (s):	1,06	1,05	1,04	1,07	1,06	1,00	1,09	1,04	1,05	1,07	1,06	1,03
Média total (s):	1,05											
							Nº ciclos/min	Nº ciclos/h		Nº garrafas/h		
							57,14	3428,57		13714		
Capsulador_2												
Ciclos (s)	1,95	2,06	1,96	1,77	1,83	1,69	1,96	1,84	1,95	1,76	1,82	1,86
	1,95	1,69	1,78	1,77	1,93	1,75	2,01	1,72	1,69	1,81	1,72	1,82
	1,98	1,75	1,7	1,76	1,96	1,82	1,65	1,81	1,83	1,97	1,76	1,96
	1,7	1,84	1,95	1,82	1,92	1,71	1,88	1,8	1,69	1,8	2,01	1,77
	1,69	1,75	1,95	1,9	1,89	1,79	1,7	1,72	1,69	1,67	1,62	1,84
	1,79	1,96	1,81	1,87	1,75	1,83	1,77	1,92	1,79	1,92	1,82	1,73
Média p/ciclo (s):	1,84	1,84	1,86	1,82	1,60	1,78	1,83	1,80	1,77	1,82	1,79	1,83
Média total (s):	1,80											
							Nº ciclos/min	Nº ciclos/h		Nº garrafas/h		
							33,33	2000,00		12000		
Capsulador_3												
Ciclos (s)	1,6	1,78	1,56	1,75	1,63	1,7	1,5	1,74	1,5	1,66	1,55	1,71
	1,85	1,66	1,61	1,69	1,48	1,73	1,75	1,84	1,58	1,72	1,7	1,72
	1,74	1,59	1,48	1,69	1,7	1,53	1,74	1,72	1,7	1,62	1,65	1,63
	1,83	1,64	1,65	1,49	1,52	1,57	1,74	1,82	1,66	1,69	1,65	1,69
	1,86	1,8	1,71	1,7	1,56	1,71	1,75	1,82	1,51	1,62	1,68	1,75
	1,85	1,72	1,49	1,68	1,69	1,8	1,78	1,81	1,5	1,5	1,65	1,54
Média p/ciclo (s):	1,79	1,70	1,58	1,67	1,60	1,67	1,71	1,79	1,58	1,64	1,65	1,67
Média total (s):	1,67											

							Nº ciclos/min	Nº ciclos/h		Nº garrafas/h		
							35,93	2155,69		12934		
Rotuladora												
Ciclos (s)	4,36	4,08	4,11	4,07	4,17	4,11	4,23	4,18	4,18	4,21	4,35	4,26
	3,87	4,19	4,04	4,13	4,17	4,16	4,2	4,15	4,3	4,18	4,32	4,23
	3,94	4,17	4,12	4,14	4,23	4,13	4,18	4,24	4,24	4,27	4,35	4,2
	4,31	4,19	4,18	4,2	4,25	4,14	4,2	4,39	4,21	4,31	4,3	4,18
	4,04	4,18	4,12	4,18	4,24	4,1	4,26	4,24	4,3	4,31	4,36	4,28
	3,97	4,23	4,12	4,11	4,25	4,15	4,23	4,33	4,18	4,26	4,23	4,18
Média p/ciclo (s):	4,08	4,17	4,12	4,14	4,22	4,13	4,22	4,26	4,24	4,26	4,32	4,22
Média total (s):	4,20											
							Nº ciclos/min	Nº ciclos/h		Nº garrafas/h		
							14,29	857,14		12857		
Formar_caixas6												
Ciclos (s)	3,87	3,72	3,71	3,84	3,93	3,91	3,92	3,98	3,91	3,99	3,98	3,98
	4,01	3,67	3,93	3,74	3,96	3,71	3,92	3,90	3,97	3,76	3,94	4,03
	3,71	3,72	3,73	4,01	3,90	3,72	3,90	3,91	3,97	4,00	3,97	3,78
	3,72	3,63	3,97	4,01	3,96	3,79	3,95	3,84	3,71	3,98	3,92	3,80
	3,71	4,01	4,01	4,10	3,90	3,73	3,91	4,03	4,01	3,92	4,01	4,00
	3,91	4,01	3,71	3,89	3,96	3,75	3,85	3,90	4,00	3,87	3,93	3,80
Média p/ciclo (s):	3,82	3,79	3,84	3,93	3,94	3,77	3,91	3,93	3,93	3,92	3,96	3,90
Média total (s):	3,89											
							Nº ciclos/min	Nº ciclos/h		Nº caixas/h		
							15,42	925,45		1851		
Formar_caixas12												
Ciclos (s)	7,55	7,85	7,98	7,88	7,96	7,65	7,98	7,95	7,78	7,81	7,91	7,74
	7,89	7,65	7,72	7,93	7,93	7,65	7,99	7,93	7,69	7,96	7,83	7,63
	7,65	7,61	7,97	7,84	7,97	7,98	7,60	7,88	7,66	7,62	7,95	7,95
	7,88	7,72	7,68	7,96	7,88	7,76	7,67	7,75	7,83	7,64	7,93	7,75
	7,74	7,95	7,92	7,64	7,97	7,86	7,60	7,93	7,79	7,66	7,67	7,71
	7,82	7,91	7,91	7,65	7,62	7,66	7,76	7,89	7,91	7,96	7,62	7,88

Média p/ciclo (s):	7,76	7,78	7,86	7,82	7,89	7,76	7,77	7,89	7,78	7,78	7,82	7,78
Média total (s):	7,81											
							Nº ciclos/min	Nº ciclos/h		Nº caixas/h		
							7,68	460,95		922		
Formar_divisórias												
Ciclos	4,95	4,87	4,71	4,85	4,41	4,74	4,8	4,91	4,8	4,8	4,98	4,83
	5,09	4,82	4,82	4,27	4,67	4,63	4,76	4,89	4,87	4,73	4,75	4,73
	4,81	4,49	4,61	4,81	4,74	4,61	4,72	4,85	4,72	4,74	4,85	4,76
	4,35	4,67	4,87	4,68	4,7	4,74	4,98	4,85	4,77	4,71	4,73	4,94
	4,52	4,62	4,75	4,73	4,53	4,7	4,68	4,72	4,67	4,77	4,77	4,72
	4,77	4,7	4,84	4,52	4,61	4,63	4,89	4,8	4,76	4,83	4,8	4,73
Média p/ciclo:	4,75	4,70	4,77	4,64	4,61	4,68	4,80	4,84	4,77	4,76	4,81	4,79
Média total:	4,74											
							Nº ciclos/min	Nº ciclos/h		Nº divisórias/h		
							12,66	759,49		759		
Encartonadora caixas 6												
Ciclos	14,29	14,40	14,34	14,45	14,60	14,31	14,55	14,37	14,62	14,35	14,33	14,55
	14,69	14,48	14,40	14,50	14,48	14,50	14,57	14,45	14,60	14,48	14,39	14,40
	14,49	14,60	14,38	14,50	14,35	14,50	14,41	14,47	14,35	14,57	14,41	14,50
	14,48	14,40	14,37	14,41	14,45	14,30	14,47	14,44	14,50	14,62	14,45	14,38
	14,53	14,23	14,44	14,21	14,55	14,37	14,60	14,47	14,52	14,30	14,33	14,40
	14,32	14,32	14,40	14,50	14,52	14,36	14,55	14,40	14,50	14,49	14,32	14,32
Média p/ciclo:	14,47	14,41	14,39	14,43	14,49	14,39	14,53	14,43	14,52	14,47	14,37	14,43
Média total:	14,44											
							Nº ciclos/min	Nº ciclos/h		Nº garrafas/h		
							4,16	249,31		11967		
Encartonadora caixas 12												
Ciclos	15,22	15,61	15,25	15,20	15,23	15,38	15,26	15,31	15,30	15,35	15,25	15,31
	15,23	15,56	15,70	15,41	15,37	15,52	15,35	15,31	15,30	15,31	15,23	15,58
	15,23	15,31	15,20	15,29	15,22	15,26	15,35	15,58	15,26	15,34	15,20	15,23
	15,26	15,48	15,25	15,20	15,21	15,27	15,50	15,43	15,50	15,27	15,58	15,23
	15,32	15,27	15,23	15,50	15,30	15,38	15,20	15,45	15,10	15,26	15,43	15,26
	15,32	15,43	15,20	15,64	15,38	15,32	15,52	15,12	15,30	15,35	15,45	15,32

Média p/ciclo:	15,26	15,44	15,31	15,37	15,29	15,36	15,36	15,37	15,29	15,31	15,36	15,32
Média total:	15,34											
							Nº ciclos/min	Nº ciclos/h		Nº divisórias/h		
							3,91	234,68		11265		
Fechar_caixas												
Ciclos	3,84	3,68	3,82	3,79	3,92	3,82	3,97	3,76	3,92	3,86	3,97	3,61
	4,07	3,79	3,98	3,81	3,81	3,87	3,93	3,91	3,78	3,91	3,99	4,01
	3,91	3,72	3,92	3,79	3,92	3,93	4,05	3,98	3,77	3,98	3,88	3,86
	3,77	3,65	3,99	3,85	3,94	3,93	3,78	3,87	3,75	3,87	3,87	3,91
	4,11	3,79	3,72	3,72	3,74	3,83	3,76	3,73	3,87	4,01	4,01	3,94
	4,09	3,86	3,82	3,92	3,98	3,81	3,98	3,91	3,91	3,82	3,97	3,97
Média p/ciclo:	3,97	3,75	3,86	3,81	3,89	3,87	3,91	3,86	3,83	3,91	3,95	3,88
Média total:	3,87											
							Nº ciclos/min	Nº ciclos/h		Nº caixas/h		
							15,49	929,10		1858		

Anexo B. Tempos de ciclo – Linha 2

Apresentam-se neste anexo todos os tempos de ciclo das máquinas implementadas na linha 2, de forma a poder-se modelar a linha no *software* Delmia QUEST. Para a recolha destes dados recorreu-se ao método das cronometragens.

Tabela 26 Valores dos tempos de ciclos de todos os equipamentos da linha 2

Despaletizadora									
Ciclos (s)	72,20	70,11	68,59	73,20	75,15	75,14	75,12	74,98	74,12
	73,98	72,11	75,14	75,65	74,16	75,12	75,14	75,13	73,62
	71,25	68,30	76,20	74,80	75,14	75,21	75,13	76,10	73,45
	71,15	66,34	74,91	72,56	75,60	75,15	75,16	75,12	74,31
	71,35	73,15	69,52	76,52	75,25	75,16	75,17	74,15	75,61
	73,70	72,11	75,18	73,25	74,51	75,18	75,12	76,12	74,36
Média p/ciclo (s):	72,27	70,35	73,26	74,33	74,97	75,16	75,14	75,27	74,25
Média total (s):	73,89								
				Nº ciclos/min		Nº ciclos/h		Nº garrafas/h	
				0,812		48,72		10865	
Lavadora									
Ciclos (s)	118,25	116,42	118,98	119,08	117,60	117,53	117,52	116,49	116,60
	115,80	117,65	117,51	117,85	116,01	117,55	116,20	116,93	119,08
	116,23	117,28	117,40	117,61	117,22	116,33	118,49	115,40	117,23
	117,13	116,53	119,18	119,81	117,12	116,48	115,85	117,55	116,78
	115,46	115,68	119,08	118,23	116,20	117,63	116,84	117,62	117,22
	116,24	116,45	118,80	118,38	117,40	117,13	116,83	116,38	116,35
Média p/ciclo (s):	116,52	116,67	118,49	118,49	116,93	117,11	116,95	116,73	117,21
Média total (s):	117,23								
				Nº ciclos/min		Nº ciclos/h		Nº garrafas/h	
				0,51		30,71		6756	
Enchedora									
Ciclos (s)	16,23	16,90	17,00	17,01	17,05	16,80	17,01	17,00	16,85
	16,73	16,91	17,06	16,78	17,01	16,83	16,88	16,83	16,81
	16,83	16,98	16,85	16,76	16,78	16,78	16,78	17,02	16,66
	16,61	17,20	16,78	16,65	16,96	16,78	17,01	16,93	16,76
	16,43	16,85	16,90	16,90	16,83	16,80	16,86	16,93	17,01
	16,45	16,91	16,91	16,86	17,03	16,83	16,71	16,88	16,93

Média p/ciclo (s):	16,55	16,96	16,92	16,83	16,94	16,80	16,88	16,93	16,84
Média total (s):	16,85								
				Nº ciclos/min		Nº ciclos/h		Nº garrafas/h	
				3,56		213,65		6409	
Rolhador									
Ciclos (s)	2,68	2,70	2,69	2,68	2,70	2,68	2,69	2,68	2,68
	2,72	2,68	2,70	2,70	2,68	2,69	2,69	2,70	2,72
	2,70	2,69	2,68	2,70	2,69	2,70	2,68	2,72	2,68
	2,69	2,75	2,69	2,70	2,68	2,68	2,70	2,68	2,69
	2,71	2,72	2,68	2,78	2,70	2,76	2,69	2,65	2,68
	2,68	2,69	2,69	2,68	2,68	2,72	2,70	2,69	2,69
Média p/ciclo (s):	2,70	2,71	2,69	2,71	2,69	2,71	2,69	2,69	2,69
Média total (s):	2,70								
				Nº ciclos/min		Nº ciclos/h		Nº garrafas/h	
				22,22		1333,33		6667	
Screw cap									
Ciclos (s)	2,21	2,25	2,36	1,99	2,13	2,18	2,26	2,36	2,25
	2,43	2,25	2,16	2,16	2,35	2,25	2,21	2,26	2,32
	2,26	2,33	2,30	2,31	2,21	2,16	2,28	2,13	2,20
	2,28	2,35	2,26	2,25	2,30	2,31	2,31	2,25	2,16
	2,15	2,25	2,46	2,20	2,26	2,28	2,25	2,18	2,40
	2,31	2,39	2,18	2,32	2,12	2,15	2,46	2,30	2,12
Média p/ciclo (s):	2,27	2,30	2,29	2,21	2,23	2,22	2,30	2,25	2,24
Média total (s):	2,26								
				Nº ciclos/min		Nº ciclos/h		Nº garrafas/h	
				26,55		1592,92		6372	
Capsulador									
Ciclos (s)	1,70	1,65	1,76	1,80	1,61	1,71	1,80	1,71	1,65
	1,63	1,66	1,73	1,61	1,65	1,65	1,71	1,61	1,61
	1,61	1,65	1,71	1,60	1,71	1,76	1,65	1,65	1,66
	1,76	1,71	1,73	1,62	1,70	1,73	1,66	1,65	1,65
	1,63	1,78	1,70	1,61	1,71	1,66	1,70	1,61	1,65
	1,75	1,76	1,76	1,61	1,70	1,76	1,76	1,71	1,61

Média p/ciclo (s):	1,68	1,70	1,73	1,64	1,68	1,71	1,71	1,66	1,64
Média total (s):	1,68								
				Nº ciclos/min		Nº ciclos/h		Nº garrafas/h	
				35,71		2142,86		6429	
Rotuladora									
Ciclos (s)	3,06	3,08	3,11	2,95	2,76	2,90	2,83	2,83	3,00
	3,05	3,05	3,05	2,98	2,91	2,85	2,86	2,78	2,81
	3,13	3,05	3,08	2,96	2,98	2,81	2,93	2,90	3,08
	3,11	2,91	3,13	3,00	3,05	2,98	2,95	2,98	2,88
	3,03	3,21	3,02	3,03	2,85	2,88	2,96	3,10	2,91
	3,08	3,18	3,05	2,88	2,80	2,88	2,88	2,90	2,90
Média p/ciclo (s):	3,08	3,08	3,07	2,97	2,89	2,88	2,90	2,92	2,93
Média total (s):	2,97								
				Nº ciclos/min		Nº ciclos/h		Nº garrafas/h	
				20,20		1212,12		7273	
Formar Caixas_6 unidades									
Ciclos (s)	4,65	4,41	4,53	4,56	4,56	4,38	4,65	4,41	4,55
	4,46	4,50	4,40	4,46	4,51	4,46	4,65	4,53	4,46
	4,48	4,50	4,45	4,61	4,63	4,48	4,63	4,63	4,55
	4,50	4,46	4,48	4,61	4,60	4,63	4,55	4,61	4,55
	4,39	4,53	4,50	4,41	4,53	4,48	4,53	4,57	4,65
	4,66	4,70	4,43	4,70	4,45	4,65	4,38	4,61	4,60
Média p/ciclo (s):	4,52	4,52	4,47	4,56	4,55	4,51	4,57	4,56	4,56
Média total (s):	4,53								
				Nº ciclos/min		Nº ciclos/h		Nº caixas/h	
				13,25		794,70		1589	
Formar Caixas_12 unidades									
Ciclos (s)	9,30	8,82	9,06	9,12	9,12	8,76	9,30	8,82	9,10
	8,92	9,00	8,80	8,92	9,02	8,92	9,30	9,06	8,92
	8,96	9,00	8,90	9,22	9,26	8,96	9,26	9,26	9,10
	9,00	8,92	8,96	9,22	9,20	9,26	9,10	9,22	9,10
	8,78	9,06	9,00	8,82	9,06	8,96	9,06	9,14	9,30
	9,32	9,40	8,86	9,40	8,90	9,30	8,76	9,22	9,20

Média p/ciclo (s):	9,05	9,03	8,93	9,12	9,09	9,03	9,13	9,12	9,12
Média total (s):	9,07								
				Nº ciclos/min		Nº ciclos/h		Nº caixas/h	
				6,62		396,91		794	
Divisórias									
Ciclos (s)	3,30	3,35	3,35	3,33	3,36	3,40	3,40	3,31	3,27
	3,36	3,31	3,36	3,35	3,32	3,41	3,37	3,41	3,41
	3,31	3,33	3,32	3,32	3,33	3,32	3,35	3,35	3,35
	3,35	3,41	3,37	3,36	3,40	3,35	3,36	3,36	3,39
	3,40	3,30	3,31	3,41	3,37	3,30	3,34	3,35	3,4
	3,37	3,30	3,30	3,32	3,30	3,31	3,31	3,31	3,31
Média p/ciclo (s):	3,35	3,33	3,34	3,35	3,35	3,35	3,36	3,35	3,36
Média total (s):	3,35								
				Nº ciclos/min		Nº ciclos/h		Nº caixas/h	
				17,91		1074,63		1075	
Encartonadora cx6									
Ciclos (s)	6,86	6,86	6,90	6,86	6,86	6,93	6,82	6,86	6,91
	6,85	6,93	6,80	6,98	6,85	6,86	6,85	6,88	6,93
	6,95	6,90	6,95	6,86	6,86	6,95	6,90	6,88	6,88
	6,86	6,88	6,93	6,85	6,95	6,86	6,89	6,95	6,86
	6,88	6,86	6,88	6,86	6,90	6,88	6,91	6,96	6,81
	6,95	6,93	6,85	6,83	6,88	6,85	6,90	6,81	6,80
Média p/ciclo (s):	6,89	6,89	6,89	6,87	6,88	6,89	6,88	6,89	6,87
Média total (s):	6,88								
				Nº ciclos/min		Nº ciclos/h		Nº garrafas/h	
				8,72		523,26		6279	
Encartonadora cx 12									
Ciclos (s)	6,90	6,85	6,86	6,80	6,91	6,93	6,90	6,93	6,86
	6,85	6,86	6,98	6,85	6,93	6,86	6,85	6,86	6,98
	6,96	6,90	6,86	6,96	6,88	6,95	6,83	6,95	6,85
	6,75	6,92	6,85	6,75	6,86	6,86	6,86	6,86	6,86
	6,90	6,86	6,86	6,76	6,81	6,88	6,91	6,88	6,96
	6,87	6,85	6,83	6,91	6,90	6,85	6,85	6,85	6,90

Média p/ciclo (s):	6,87	6,87	6,87	6,84	6,88	6,89	6,87	6,89	6,90
Média total (s):	6,88								
				Nº ciclos/min		Nº ciclos/h		Nº garrafas/h	
				8,72		523,26		6279	
Fechar caixas									
Ciclos (s)	10,06	10,07	10,04	10,15	10,02	10,18	10,23	10,56	10,31
	10,67	10,77	10,54	10,51	10,42	10,56	10,07	10,31	10,36
	10,10	10,21	10,12	10,19	10,10	10,03	10,71	10,33	10,29
	10,56	10,56	10,32	10,16	10,14	10,26	10,26	10,26	10,25
	10,25	10,29	10,20	10,05	10,15	10,85	10,05	10,34	10,46
	10,18	10,08	10,04	10,31	10,26	10,68	10,38	10,42	10,51
Média p/ciclo (s):	10,30	10,33	10,30	10,23	10,18	10,43	10,28	10,37	10,36
Média total (s):	10,31								
				Nº ciclos/min		Nº ciclos/h		Nº caixas/h	
				5,8		349,2		1397	

Anexo C. Esquema elétrico da Máquina de Formar Caixas

Apresentam-se neste anexo as imagens do esquema elétrico da Máquina de Formar caixas, com as respectivas alterações implementadas.

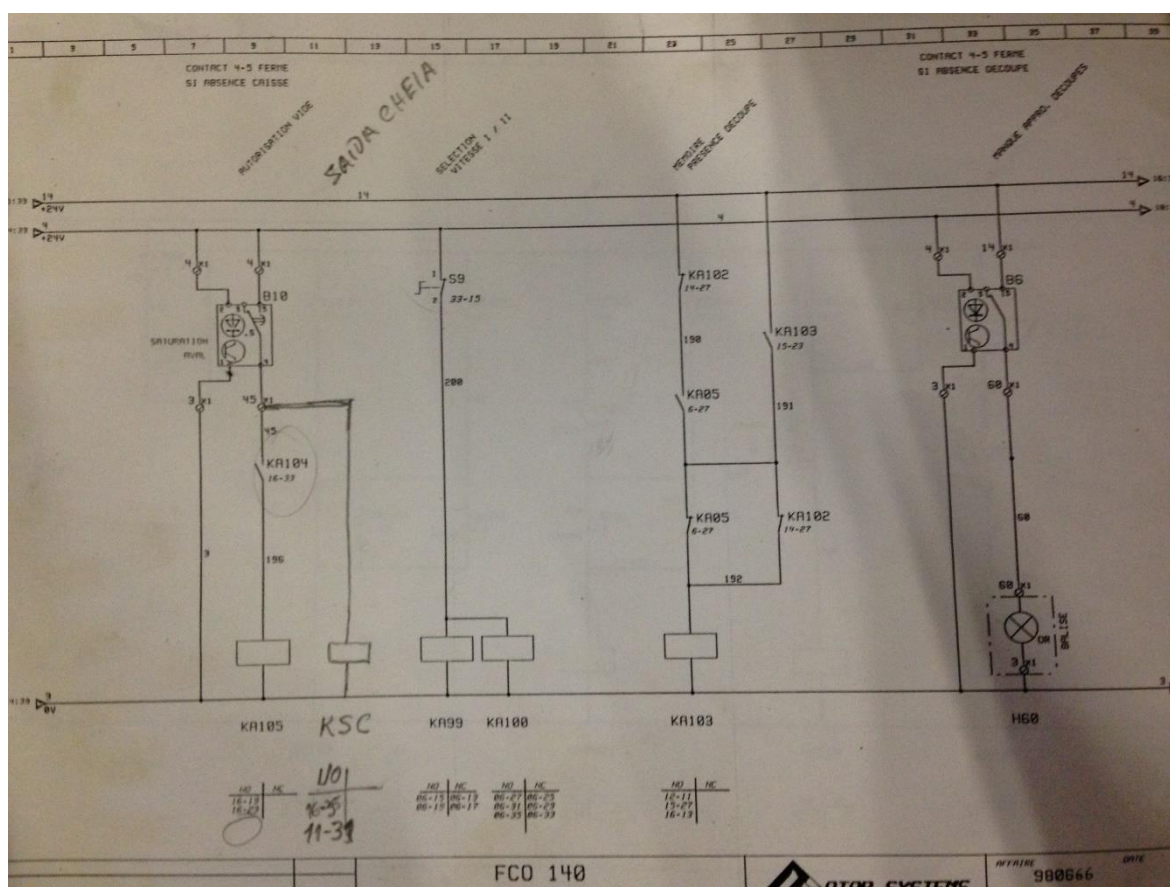


Figura 77 Esquema elétrico da máquina de formar caixas

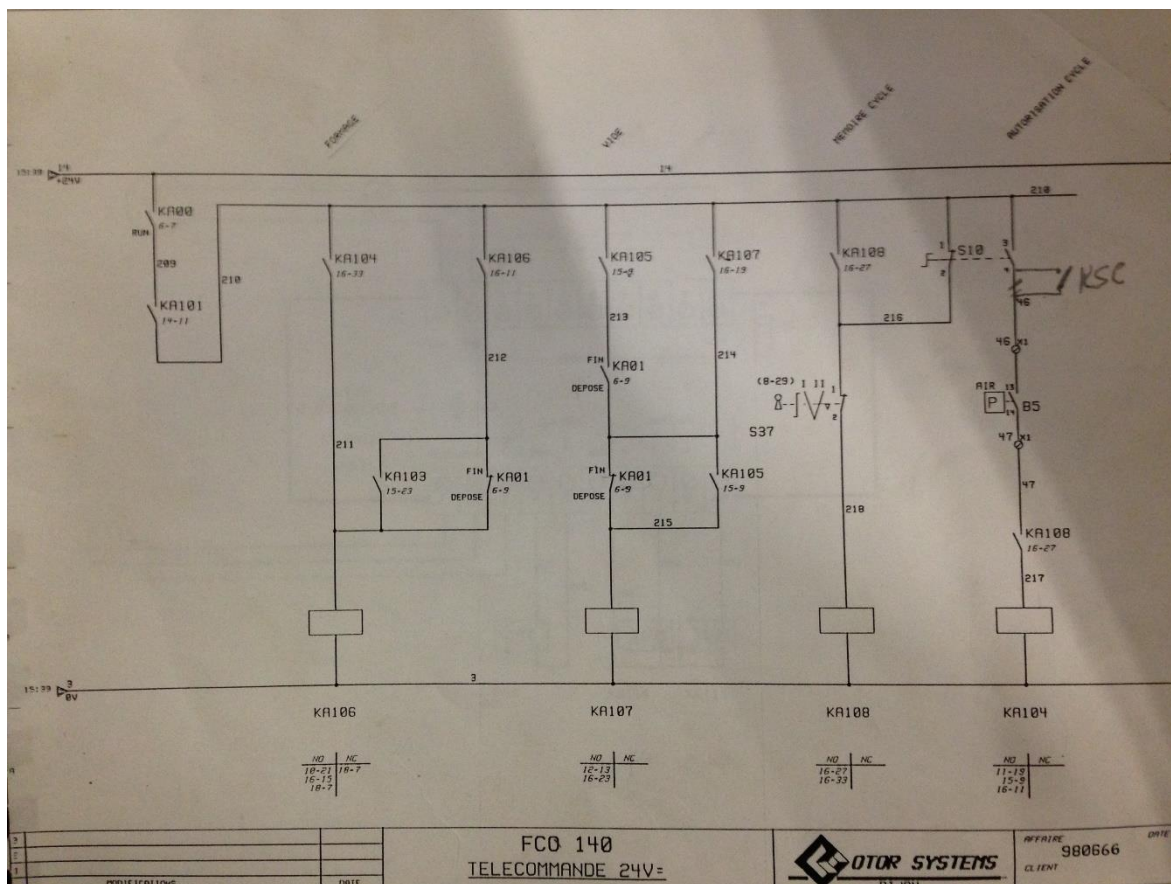


Figura 78 Esquema elétrico da máquina de formar caixas parte 2

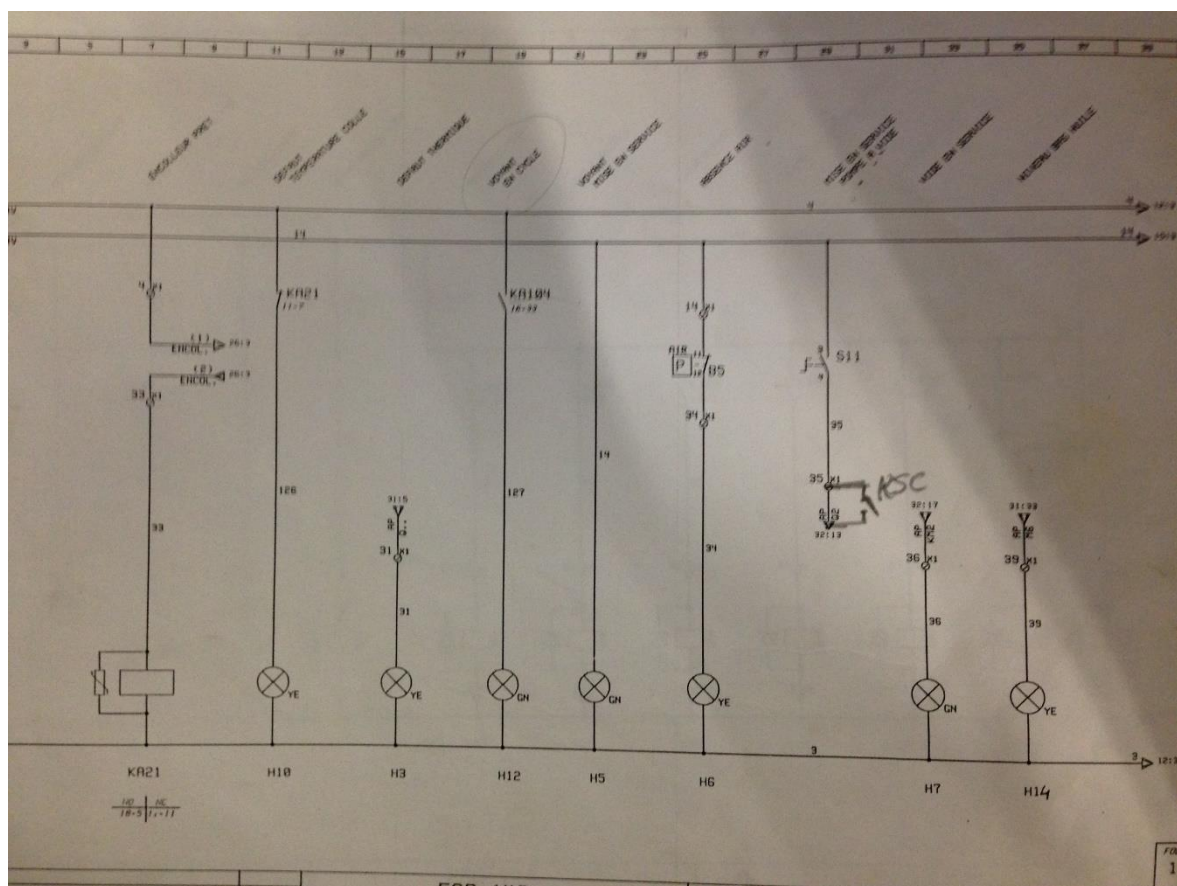


Figura 79 Esquema elétrico da máquina de formar caixas parte 3

Anexo D. Velocidades dos transportadores – Linha 1

Apresenta-se, neste anexo, uma tabela com todas as velocidades dos transportadores de garrafas e caixas implementados na linha 1. Estes dados são necessários para a modelação da linha 1 no *software* Delmia QUEST.

Tabela 27 Valores das velocidades de todos os transportadores implementados na linha 1

Tapete	Velocidade (m/min.)	Velocidade média (m/min.)	Velocidade média (mm/s)
Frente despaletizadora (1)	9,46	9,44	157,33
	9,26		
	9,68		
	9,24		
	9,57		
imediatamente a seguir (2)	6,21	6,07	101,17
	6,18		
	6,15		
	5,85		
	5,88		
antes lavadora (3)	6,12	8,35	139,17
	8,22		
	7,81		
	8,34		
	8,84		
saída lavadora (4)	8,22	16,51	275,17
	8,64		
	15,69		
	16,19		
	17,17		
mais à frente (5)	16,67	14,92	248,67
	16,27		
	17,07		
	14,84		
	14,86		
antes da enchedora (6)	14,89	22,68	378
	14,9		
	14,83		
	15,22		
	22,9		
	22,18		
	22,5		

	22,08		
	22,98		
	23,41		
imediatamente antes da enchedora (7)	15,89	15,96	266
	16,69		
	15,71		
	15,76		
	15,82		
	15,86		
frente rolhador (8)	25,24	25,4	423,33
	25,2		
	25,58		
	25,31		
	25,63		
	25,44		
frente screwcap (9)	26,78	26,75	445,83
	26,73		
	27,01		
	26,62		
	26,54		
	26,79		
à beira do inspetor (10)	25,34	25,55	425,83
	25,63		
	25,4		
	25,57		
	25,68		
	25,66		
saída zona enchimento (11)	19,11	18,40	306,67
	15,58		
	19,13		
	19,58		
	18,09		
	18,93		
depois da saída da zona enchimento (12)	18,62	18,80	313,33
	19,11		
	18,8		
	18,68		
	19,09		
	18,52		
mais à frente (13)	20,37	20,26	337,67
	19,81		
	19,95		
	20,5		
	20,7		
	20,25		
antes do capsulador (14)	18,66	18,93	315,5

	18,83		
	18,91		
	19,1		
	19,14		
	18,91		
frente capsulador (15)	30,53	31,99	533,17
	31,21		
	33,03		
	33,15		
	31,75		
	32,25		
imediatamente antes da rotuladora (16)	22,56	22,45	374,17
	22,49		
	22,33		
	22,28		
	22,58		
	22,46		
saída da rotuladora (17)	22,62	22,36	372,67
	22,3		
	22,45		
	22,46		
	21,73		
	22,61		
mais à frente em direção à encartonadora (18)	9,5	9,57	159,5
	9,62		
	9,42		
	9,6		
	9,66		
	9,59		
antes da encartonadora (19)	8,8	8,87	147,83
	7,7		
	9,52		
	8,72		
	8,63		
	9,85		
imediatamente atrás da encartonadora (20)	7,29	8,88	148
	8,39		
	9,77		
	9,9		
	8,67		
	9,26		
frente formar_caixas (21)	32,2	32,22	537
	32,24		
	32,3		
	31,27		
	32,61		

	32,69		
frente divisórias (22)	23,76	23,83	397,17
	23,91		
	23,7		
	23,88		
	23,87		
	23,84		
seguinte antes da encartonadora (23)	47,27	47,29	788,17
	47,14		
	47,25		
	47,21		
	47,96		
	46,93		
frente da encartonadora (24)	12,54	12,34	205,67
	12,03		
	12,4		
	12,28		
	12,47		
	12,31		
imediatamente atrás do inspetor de caixas (25)	11,26	11,61	193,5
	11,75		
	11,27		
	11,72		
	12,04		
	11,64		
frente inspetor caixas (26)	17,91	17,93	298,8
	17,95		
	17,92		
	17,93		
	17,91		
	17,93		

Anexo E. Velocidades dos transportadores – Linha 2

Apresenta-se, neste anexo, a tabela relativa às velocidades recolhidas dos transportadores de garrafas e caixas da linha 2. Estes dados são necessários para a modelação da linha 2 no *software* Delmia QUEST.

Tabela 28 Valores referentes às velocidades dos transportadores da linha 2

Tapete	Velocidade (m/min.)	Velocidade média (m/min.)	Velocidade média (mm/s)
Frente despaletizadora (1) alumínio	4,74	4,92	82,02
	5,10		
	4,91		
imediatamente a seguir (2) plástico	16,00	15,97	266,22
	16,50		
	15,42		
antes lavadora (3)	16,01	16,14	269,05
	16,51		
	15,90		
saída lavadora (4)	17,68	17,88	298,06
	18,29		
	17,66		
antes enchedora (5)	12,12	12,24	204,04
	12,47		
	12,12		
frente rolhador (6)	21,03	21,29	354,90
	21,22		
	21,63		
saída enchimento-capsulador (7)	12,08	12,20	203,32
	12,39		
	12,12		
entrada capsulador (8)	12,6	12,64	210,71
	12,64		
	12,68		
saída capsulador (9)	12,33	12,28	204,71
	11,83		
	12,68		
entrada secador (10)	9,53	9,44	157,36
	9,63		

	9,15		
entrada rotuladora (11)	21,18	21,62	360,41
	21,57		
	22,1		
saída rotuladora (12)	11,34	11,41	190,20
	12,21		
	10,67		
antes encartonadora (13)	17,58	17,69	294,89
	17,49		
	17,99		
saída máq. Formar caixas (14)	27,66	27,69	461,59
	28,08		
	27,33		
frente máq. divisórias (15)	27,83	27,77	462,93
	27,59		
	27,88		
antes encartonadora caixas (16)	37,92	38,2	636,79
	38,23		
	38,45		
frente encartonadora (17)	10,7	10,50	175,04
	10,22		
	10,58		
mais à frente (18)	28,63	28,64	477,43
	29,23		
	28,05		
balança (19)	37,8	37,24	620,79
	36,94		
	36,97		
antes máq. Fechar caixas (20)	13,32	13,72	228,71
	14,81		
	13,04		